

TUGAS AKHIR

Analisis Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Besi (Fe) pada Mikroplastik di Air Lindi TPA Piyungan, Yogyakarta

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan**



**Esty Khoirina Indah Ma'rufi
20513208**

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2024**

TUGAS AKHIR

**Analisis Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Besi (Fe) pada Mikroplastik di
Air Lindi TPA Piyungan, Yogyakarta**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan**



ESTY KHOIRINA INDAH MA'RUF I

20513208

Disetujui,

Dosen Pembimbing

Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D.

NIK. 155130112

Tanggal: 22 Agustus 2024

Mengetahui,

Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII



Any Juliani, S.T., M.Sc. (Res.Eng.), Ph.D.

NIK. 045130401

Tanggal: 22 Agustus 2024

HALAMAN PENGESAHAN

Analisis Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Besi (Fe) pada Mikroplastik di Air Lindi TPA Piyungan, Yogyakarta

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari: Kamis
Tanggal: 22 Agustus 2024

Disusun Oleh:
Esty Khoirina Indah Ma'rufi
20513208

Tim Penguji :

Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D.
NIK. 155130112

( 22/8 '24)

Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T.,
NIK. 155131313

( 22/8 '24)

Fajri Mulva Iresha, S.T., M.T.,
Ph.D.
NIK. 155130507

( 22/8 '24)

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Program software komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggungjawab saya, bukan tanggungjawab Universitas Islam Indonesia. (apabila menggunakan software khusus)
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 22 Agustus 2024
Yang membuat pernyataan,



Esty Khoirina Indah Ma'rufi
20513208

PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillahirrabbi 'alamin segala puji bagi Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis bisa menyelesaikan penulisan Tugas Akhir yang berjudul **Analisis Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Besi (Fe) pada Mikroplastik di Air Lindi TPA Piyungan, Yogyakarta**. Laporan Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan akademik sehingga penulis mendapatkan gelar Sarjana Teknik dan menyelesaikan aktivitas akademik selama menjadi mahasiswa Universitas Islam Indonesia.

Dalam pengerjaan laporan Tugas Akhir penulis sering mengalami dan menjalani berbagai rintangan suka maupun duka, namun akhirnya penulis dapat melewati semua rintangan tersebut berkat bimbingan, dukungan, semangat, dan dorongan dari semua pihak, maka dengan ketulusan hati yang paling dalam penulis ingin mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada :

1. Kepada Allah SWT yang selalu memberikan rahmat-Nya, kesehatan, dan kelancaran sehingga penulis bisa mengerjakan dan menyelesaikan penyusunan laporan Tugas Akhir ini dengan lancar.
2. Kepada ayah dan almh ibu yang selalu menjadi acuan semangat bagi peneliti dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
3. Kepada kakak kandung dan kakak ipar yang selalu memberikan dukungan serta do'a sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Ibu Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing dan memberikan arahan dalam menyelesaikan penelitian tugas akhir ini.
5. Ibu Dr. Suphia Rahmawati, ST, MT. selaku Dosen Penguji yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing dan memberikan arahan dalam menyelesaikan penelitian tugas akhir ini.

6. Bapak Fajri Mulya Iresha, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Penguji yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing dan memberikan arahan dalam menyelesaikan penelitian tugas akhir ini.
7. Seluruh dosen, staff, dan Keluarga Besar Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP, UII yang memberikan bantuan, pengajaran dan berbagi pengalaman yang diberikan kepada penulis.
8. Seluruh staff Laboratorium Program Studi Teknik Lingkungan yang selalu memberikan bantuan, arahan, dan bimbingan selama penulis menggunakan laboratorium.
9. Pihak TPA Piyungan yang telah memberikan izin dan bantuan selama melakukan sampling.
10. Teman pengerjaan Tugas Akhir Rafli dan Almira.
11. Teman-teman “freeyayy” yang membantu penulis selama perkuliahan.
12. Anisah, Audy dan Eza sebagai teman yang selalu memberi semangat dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
13. Teman – teman angkatan 2020 Program Studi Teknik Lingkungan.
14. Pihak - pihak lain yang telah memberikan bantuan namun tidak bisa penulis sebutkan satu - persatu.

Penulis menyadari bahwa laporan Tugas Akhir ini masih banyak berbagai kekurangan. Hal ini tidak lain berasal dari keterbatasan pengetahuan dan kesalahan dari penulis. Oleh sebab itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan demi menyempurnakan laporan tugas akhir ini. Penulis berharap laporan tugas akhir yang telah disusun ini dapat bermanfaat bagi para pembacanya.

Yogyakarta, 02 Juli 2024
Penulis,

(Esty Khoirina Indah Ma'rufi)

ABSTRAK

ESTY KHOIRINA INDAH MA'RUFIL. Analisis Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Besi (Fe) pada Mikroplastik di Air Lindi TPA Piyungan, Yogyakarta Dibimbing oleh Ibu Puji Lestari.

Tumpukan sampah pada TPA Piyungan menghasilkan air lindi yang berpotensi mencemari lingkungan dan membahayakan kesehatan. Karena air lindi mengandung beberapa pencemar seperti logam berat dan mikroplastik. Maka dari itu penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kelimpahan mikroplastik pada air lindi TPA Piyungan meliputi jumlah, warna, jenis, ukuran dan polimer. Menganalisis konsentrasi logam berat pada mikroplastik dan air lindi. Analisis sampel pengujian mikroplastik menggunakan metode yang bersumber dari *National Ocean and Atmospheric Administration* (NOAA) dengan beberapa modifikasi, meliputi tahapan *Wet Peroxide Oxidation* (WPO) dan *density separation*. Analisis kelimpahan menggunakan mikroskop, sedangkan senyawa polimer menggunakan Spektrofotometri FT-IR dengan panjang gelombang yang bervariasi. Setelah dilakukan analisis mikroplastik, didapatkan hasil kelimpahan mikroplastik paling tinggi terdapat pada inlet 1 sebanyak 5.810 partikel/L. Bentuk mikroplastik yang teridentifikasi di antaranya fragmen dengan ukuran paling panjang 0,13 mm, film dengan ukuran paling panjang 0,23 mm, pellet dengan ukuran paling panjang 0,05 mm, fiber dengan paling panjang 0,57 mm, foam dengan ukuran paling panjang 0,30 mm. Warna mikroplastik yang teridentifikasi diantaranya hitam, bening, coklat, orange, biru, merah dan pink. Jenis senyawa polimer yang teridentifikasi meliputi *polypropylene* (PP), *Poly (methyl methacrylate)* (PMMA or acrylic), *polystyrene* (PS) dan *polyvinyl chloride* (PVC). Analisis konsentrasi logam berat Pb dan Fe dilakukan menggunakan instrumen *Atomic Absorption Spectrofotometry* (AAS) sesuai dengan SNI (6989-84:2019). Logam berat Fe di mikroplastik paling tinggi terdapat pada outlet IPL 2 dengan jumlah 1,21 mg/g, sedangkan logam Pb tidak terdeteksi pada mikroplastik air lindi TPA Piyungan.

Kata Kunci : Air Lindi, Logam Berat, Mikroplastik,

ABSTRACT

ESTY KHOIRINA INDAH MA'RUFIL. Analysis of the Heavy Metal Content of Lead (Pb) and Iron (Fe) on Microplastics in Piyungan Landfill Leachate, Yogyakarta Supervised by Mrs. Puji Lestari.

Waste piles at the Piyungan landfill produce leachate that has the potential to pollute the environment and endanger health. Because leachate contains several pollutants such as heavy metals and microplastics. Therefore, this study aims to analyze the abundance of microplastics in Piyungan landfill water including number, color, type, size and polymer. Analyzing the concentration of heavy metals in microplastics and leachate water. Analysis of microplastic testing samples using methods sourced from the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) with several modifications, including the Wet Peroxide Oxidation (WPO) and density separation stages. Abundance analysis used microscopy, while polymer compounds used FT-IR Spectrophotometry with varying wavelengths. After analyzing microplastics, the highest abundance of microplastics was found in inlet 1 as many as 5,810 particles/L. The identified microplastic shapes include fragments with the longest size of 0.13 mm, films with the longest size of 0.23 mm, pellets with the longest size of 0.05 mm, fibers with the longest size of 0.57 mm, foam with the longest size of 0.30 mm. The identified microplastic colors include black, clear, brown, orange, blue, red and pink. The types of polymer compounds identified include polypropylene (PP), poly (methyl metacrylate)(PMMA or acrylic), polystyrene (PS) and polyvinyl chloride (PVC). Analysis of Pb and Fe heavy metal concentrations was conducted using Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) instrument in accordance with SNI (6989-84:2019). Fe heavy metal in microplastics was highest in the outlet of IPL 2 with an amount of 1.21 mg/g, while Pb metals was not detected in microplastics of piyungan landfill leachate water.

Keywords: Leachate, Heavy Metals, Microplastics

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR.....	1
HALAMAN PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PERNYATAAN.....	Error! Bookmark not defined.
PENGANTAR	5
ABSTRAK.....	7
ABSTRACT.....	8
DAFTAR ISI.....	9
DAFTAR TABEL.....	11
DAFTAR GAMBAR.....	12
DAFTAR LAMPIRAN.....	14
BAB I PENDAHULUAN.....	15
1.1 Latar Belakang	15
1.2 Rumusan Masalah	16
1.3 Tujuan Penelitian.....	16
1.4 Manfaat Penelitian.....	17
1.5 Ruang Lingkup.....	17
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	18
2.1 Instalasi Pengolahan Air Lindi TPA Piyungan.....	18
2.2 Keberadaan Mikroplastik pada Air Lindi.....	19
2.3 Keberadaan Logam Berat Timbal (Pb) dan Besi (Fe) pada Air Lindi	24
2.4 Hubungan Mikroplastik dengan Logam Berat	25
2.5 Dampak	26
2.6 Penelitian Terdahulu	27
BAB III METODE PENELITIAN	29
3.1 Diagram Alir Penelitian	29
3.2 Waktu dan Lokasi.....	30
3.3 Alat dan Bahan	30
3.4 Analisis Sampel.....	31
3.5 Analisis Data	37
3.5.1 Analisis Mikroplastik pada Air Lindi TPA Piyungan.....	37
3.5.2 Analisis Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Logam Berat Besi (Fe) pada Mikroplastik Air Lindi TPA Piyungan	38
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS DATA	39
4.1 Karakteristik Air Lindi.....	39

4.1.1 Logam Berat pada Air Lindi	44
4.2 Identifikasi Mikroplastik pada Air Lindi	44
4.2.1 Identifikasi Mikroplastik Berdasarkan Jumlah	45
4.2.2 Identifikasi Mikroplastik Berdasarkan Jenis dan Ukuran	46
4.2.3 Identifikasi Mikroplastik Berdasarkan Warna	50
4.2.4 Identifikasi Senyawa Polimer Mikroplastik.....	53
4.3 Logam Berat pada Mikroplastik	54
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	56
5.1 Kesimpulan	56
5.2 Saran	56
DAFTAR PUSTAKA	57
LAMPIRAN.....	62

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi Mikroplastik Berdasarkan Bentuk	19
Tabel 2. 2 Jenis Mikroplastik	20
Tabel 2. 3 Jenis Polimer Mikroplastik yang Banyak Ditemukan dan Densitasnya	21
Tabel 2. 4 Karakteristik Nilai Puncak FT-IR untuk Berbagai Jenis Mikroplastik.....	21
Tabel 2. 5 Penelitian Terdahulu	27
Tabel 4. 1 Deskripsi Titik Pengambilan Sampel.....	40
Tabel 4. 2 Karakteristik Sampel Air Lindi TPA Piyungan	42
Tabel 4. 3 Kandungan Logam Berat Pb dan Fe pada Air Lindi TPA Piyungan	44
Tabel 4. 4 Jenis Mikroplastik pada Air Lindi TPA Piyungan.....	46
Tabel 4. 5 Kandungan Logam Berat Pb dan Fe pada Mikroplastik	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Jenis Mikroplastik Fragmen	20
Gambar 2. 2 Jenis Mikroplastik Fiber	20
Gambar 2. 3 Jenis Mikroplastik Film	20
Gambar 2. 4 Jenis Mikroplastik Foam	20
Gambar 2. 5 Jenis Mikroplastik Pellet	21
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	29
Gambar 3. 2 Peta Titik Lokasi Sampling	30
Gambar 3. 3 Proses Pengambilan Sampel.....	31
Gambar 3. 4 Proses Penyimpanan Sampel	31
Gambar 3. 5 Diagram Alir Pengambilan Sampel	32
Gambar 3. 6 Wet Peroxide Oxidation (WPO).....	34
Gambar 3. 7 Density Separation.....	34
Gambar 3. 8 Penyaringan	34
Gambar 3. 9 Sentrifugasi.....	34
Gambar 3. 10 Mikroskop.....	34
Gambar 3. 11 Diagram Alir Pengujian Mikroplastik pada Sampel Air Lindi	35
Gambar 3. 12 Atomic Absorption Spectrofotometry (AAS)	36
Gambar 3. 13 Destruksi.....	36
Gambar 3. 14 Diagram Alir Pengujian Logam Berat pada Sampel Air Lindi	36
Gambar 3. 15 Diagram Alir Pengujian Mikroplastik dan Logam Berat	37
Gambar 4. 1 Layout IPL TPA Piyungan	39
Gambar 4. 2 Diagram Alir Proses IPL 1	40
Gambar 4. 3 Diagram Alir Proses IPL 2	40
Gambar 4. 4 Sampel Air Lindi Inlet 1.....	42
Gambar 4. 5 Sampel Air Lindi Outlet 1	42
Gambar 4. 6 Sampel Air Lindi Inlet 2.....	43
Gambar 4. 7 Sampel Air Lindi Outlet 2	43
Gambar 4. 8 Diagram Kelimpahan Jumlah Mikroplastik	45
Gambar 4. 9 Ukuran Fragmen Terbesar	47
Gambar 4. 10 Ukuran Fragmen Terkecil.....	47
Gambar 4. 11 Ukuran Film Terbesar.....	47
Gambar 4. 12 Ukuran Film Terkecil	47
Gambar 4. 13 Ukuran Pellet Terbesar	47
Gambar 4. 14 Ukuran Pellet Terkecil.....	47
Gambar 4. 15 Ukuran Fiber Terbesar	48
Gambar 4. 16 Ukuran Fiber Terkecil	48
Gambar 4. 17 Ukuran Foam Terbesar	48
Gambar 4. 18 Ukuran Foam Terkecil.....	48
Gambar 4. 19 Diagram Kelimpahan Jenis Mikroplastik.....	49
Gambar 4. 20 Diagram Kelimpahan Warna Mikroplastik	51
Gambar 4. 21 Mikroplastik Hitam	52
Gambar 4. 22 Mikroplastik Transparan	52
Gambar 4. 23 Mikroplastik Coklat.....	52

Gambar 4. 24 Mikroplastik Oren	52
Gambar 4. 25 Mikroplastik Biru	52
Gambar 4. 26 Mikroplastik Merah	52
Gambar 4. 27 Mikroplastik Merah Muda.....	52
Gambar 4. 28 Diagram Kombinasi Warna pada Jenis Mikroplastik.....	53

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 - Perhitungan Limit of Detection (LoD) Logam Berat Pb dan Fe.....	62
Lampiran 2 – Perhitungan Kelimpahan Mikroplastik.....	62
Lampiran 3 – Perhitungan Logam Berat pada Mikroplastik.....	63
Lampiran 4 – Hasil Pembacaan Polimer Mikroplastik Menggunakan FT-IR	65
Lampiran 5 – Hasil Pembacaan Konsentrasi Logam Berat Pb dan Fe Menggunakan AAS..	68

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sampah plastik merupakan salah satu permasalahan lingkungan yang sedang dihadapi saat ini. Berdasarkan data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) dari total jumlah sampah di Indonesia pada tahun 2022 sebanyak 18,17% merupakan sampah plastik dan D.I Yogyakarta menyumbang 25,82% dari total sampah plastik yang ada. Salah satu penunjang persentase timbulan sampah plastik tersebut yaitu pemanfaatan plastik oleh masyarakat Indonesia yang semakin meningkat (Cadman *et al.*, 2018). Selain itu, timbulan sampah plastik banyak berasal dari industri makanan yang menempati 80% dalam penggunaan kemasan plastik (Nasution, 2015). Semakin tinggi penggunaan plastik maka semakin meningkat pula timbulan sampah plastik. Peningkatan tersebut disebabkan oleh penggunaan plastic tidak diimbangi dengan pengolahan yang tepat sehingga terjadi *over capacity* hampir di seluruh Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) (Muthmainnah & Adris. 2020).

Plastik merupakan polimer sintesis yang membutuhkan waktu ratusan tahun untuk terurai. Berdasarkan penelitian Wang *et al.*, (2016) jenis polimer dan campurannya yang diproduksi secara besar untuk kebutuhan komersial yaitu HDPE, LDPE, polietilena, polipropilena (PP), polivinil klorida (PVC), poliuretan (PUR), polistiretan (PUR) polistirena (PS), polietilena tereftalat (PET). Plastik dapat terpecah menjadi partikel-partikel berukuran kecil dengan adanya proses degradasi di lingkungan (Galgani, 2015). Partikel plastik yang memiliki ukuran kurang dari 5 mm disebut dengan mikroplastik (Kershaw, 2015). Menurut Supit *et al.*, (2022) mikroplastik dapat berupa mikroplastik sekunder dan mikroplastik primer, mikroplastik sekunder merupakan hasil dari degradasi dan abrasi plastik yang lebih besar atau makroplastik, sedangkan mikroplastik primer dibuat dengan ukuran 5 mm.

Salah satu sumber mikroplastik pada lingkungan yaitu air lindi dari Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) (He *et al.*, 2019). Salah satu air lindi TPA yang mengandung mikroplastik yaitu air lindi TPA Piyungan dengan rata-rata mikroplastik $154,80 \pm 21,22$ partikel/L pada kolam inlet dan $135,60 \pm 12,18$ partikel/L, dimana lokasi ini yang akan dijadikan sebagai lokasi penelitian (Utami *et al.*, 2022). Negara China menyatakan terdapat dua belas sampel air lindi yang berasal dari empat TPA sampah kota yang masih aktif dan tertutup mengandung mikroplastik (Pinjing He *et al.*, 2016). Terdapat mikroplastik yang mencemari tanah dan kolam lindi pada 12 TPA di Thailand dengan rata-rata kelimpahan $1.457,99 \pm 489,71$ partikel/kg dan $20,90 \pm 4,96$ partikel/L (Puthcharoen & Leungprasert, 2019). Menurut Irhamni *et al.*, (2017)

Selain mikroplastik, terdapat pencemar lain di TPA seperti bahan organik yang membusuk dan logam berat (Cr, Hg, Pb, Cu, Fe, Mn, Zn, Cl).

Unsur-unsur logam berat pada air lindi yang berpotensi menimbulkan pencemaran pada lingkungan diantaranya yaitu Fe, As, Cd, Pb, Hg, Mn, Ni, Cr, Zn dan Cu. Unsur logam berat tersebut lebih ekstensif penggunaannya demikian dengan tingkat toksisitasnya yang tinggi (Saeni, 2002). Berdasarkan *United State Environment Protection Agency* (US EPA) bahwasanya logam berat sebagai pencemar utama berbahaya yaitu Sb, Ag, Be, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Se, Sr dan Zn (Sukhendrayatna, 2001). Menurut Bellas dan Gil (2020) logam berat yang di-adsorpsi oleh mikroplastik, toksisitasnya akan meningkat dan menjadi lebih berbahaya. Menurut Yusron, M *et al.*, (2021) Identifikasi pencemaran mikroplastik dan logam berat sangat penting, karena hingga saat ini belum terdapat baku mutu mikroplastik pada perairan sungai. Selain itu, mikroplastik perairan mampu menyerap kandungan logam berat yang bersifat *mobile* (Hirt and Malapel, 2020). Oleh karena itu, secara tidak langsung mikroplastik dapat dikategorikan sebagai distributor logam berat dari sumber pencemaran hingga ke muara, maupun badan sungai yang masih bersih dan potensial untuk dimanfaatkan. Logam berat yang umum dalam lindi dengan nilai rata-rata yang sesuai adalah tembaga (Cu) (5ppm), seng (Zn) (50 ppm), timbal (Pb) (0,30 ppm) dan merkuri (Hg) (60 ppm) (Csuros, and Csuros, 2002).

Keberadaan mikroplastik yang sangat melimpah pada air lindi TPA dan dampaknya yang kompleks di lingkungan sebagaimana yang telah dijelaskan pada paragraf sebelumnya. Oleh karena itu dilakukan penelitian mengenai kelimpahan mikroplastik. Dikarenakan penelitian terdahulu hanya menganalisis kelimpahan mikroplastik saja, maka penelitian ini menganalisis mikroplastik pada air lindi TPA, selain itu mengetahui kadar logam berat timbal (Pb) dan Fe yang terkandung pada mikroplastik.

1.2 Rumusan Masalah

- 1) Bagaimana kelimpahan mikroplastik yang terdapat pada air lindi TPA Piyungan?
- 2) Bagaimana konsentrasi logam berat Pb dan Fe yang terdapat pada mikroplastik di air lindi TPA Piyungan?

1.3 Tujuan Penelitian

- 1) Menganalisis kelimpahan mikroplastik yang terdapat pada air lindi TPA Piyungan.
- 2) Menganalisis konsentrasi logam berat yang terdapat pada mikroplastik di air lindi TPA Piyungan.

1.4 Manfaat Penelitian

- 1) Penelitian yang diberikan memberikan ilmu pengetahuan dan pengalaman
- 2) Dapat mengetahui jenis mikroplastik dan logam berat yang terkandung pada air lindi TPA Piyungan
- 3) Dapat digunakan sebagai acuan penelitian selanjutnya terkait kelimpahan mikroplastik dan logam berat

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup pada penelitian ini di antaranya :

- 1) Ruang Lingkup Lokasi : Titik lokasi yang digunakan yaitu inlet Instalasi Pengolahan Air Lindi (IPL) 1 dan 2 Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Piyungan Yogyakarta., outlet IPL 1 dan 2 TPA Piyungan Yogyakarta.
- 2) Ruang Lingkup Waktu : Penelitian ini dilakukan selama 6 bulan, terhitung dari bulan Maret sampai bulan Agustus.
- 3) Ruang Lingkup Metode :
 - Penelitian ini menganalisis kelimpahan mikroplastik menggunakan metode *Wet Peroxide Oxidation* (WPO), *Density Separation* dan analisis menggunakan instrumen *Fourier-transform infrared spectroscopy* (FTIR).
 - Penelitian ini melakukan pengujian kandungan logam berat timbal (Pb) dan besi (Fe) menggunakan instrumen *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Instalasi Pengolahan Air Lindi TPA Piyungan

Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Piyungan adalah TPA terbesar yang terdapat di Provinsi Yogyakarta. TPA Piyungan telah beroperasi selama 25 tahun, memiliki kapasitas tampung sebesar 600ton sampah per hari dan sejak tahun 2012 TPA Piyungan mengalami *overcapacity* (Mulasari *et al.*, 2016) enurut data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) tahun 2022 untuk provinsi D.I Yogyakarta, komposisi sampah berdasarkan jenis sampah yang terdapat pada Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) yaitu sisa makanan, logam, kain, kayu/ranting, karet/kulit, kertas/karton, kaca, plastik dan lainnya. Total sampah plastik menduduki komposisi terbanyak yaitu 25,82% setelah sisa makanan 43,62%. TPA merupakan tempat penampungan berbagai sampah dan menghasilkan air lindi yang mengandung berbagai jenis pencemar yang berpotensi mengganggu lingkungan dan kesehatan manusia (Sari *et al.*, 2017). Lindi merupakan cairan yang merembes melewati tumpukan sampah dan membawa materi terlarut atau tersuspensi hasil dari proses dekomposisi materi sampah (Damanhuri, 2010). Air lindi yang dihasilkan dari TPA Piyungan sangat berpotensi mencemari sungai Opak yang merupakan salah satu sungai yang melintasi wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) (Andesgur *et al.*, 2014) Oleh karena itu agar air lindi yang dihasilkan tidak langsung dialirkan ke sungai, TPA Piyungan memiliki Instalasi Pengolahan Lindi (IPL).

Instalasi Pengolahan Lindi (IPL) TPA Piyungan memiliki tiga proses utama yaitu sedimentasi, aerasi dan desinfeksi (Kartikasari *et al.*, 2020). Kolam sedimentasi merupakan unit yang berfungsi untuk menghilangkan materi tersuspensi atau flok kimia secara gravitasi (Safria P, Arief P, 2022). Kolam aerasi merupakan unknit yang berfungsi mengoksidasi air buangan dan menurunkan kadar BOD/COD, dimana kebutuhan oksigennya dipenuhi dengan adanya aerator (Saleh, 2012). Sedangkan unit kolam desinfeksi berfungsi untuk membunuh mikroorganisme patogen, dengan menambahkan pembubuh sebelum dibuang ke badan air penerima (Abbud, 2021). Berdasarkan penelitian Utami *et al.*, (2022) jumlah kelimpahan mikroplastik pada inlet lebih tinggi dari outlet IPL dikarenakan belum adanya tahapan utama pengolahan lindi diantaranya sedimentasi, aerasi dan desinfeksi. Lindi yang telah melewati pengolahan terbukti dapat mengurangi mikroplastik sebesar 58,1% dikarenakan mikroplastik tertahan di lumpur kolam pengolahan atau di sedimen (Waddell *et al.*, 2020; Alam *et al.*, 2021).

2.2 Keberadaan Mikroplastik pada Air Lindi

Mikroplastik merupakan partikel padat sintetik atau matriks polimer, dengan bentuk teratur atau tidak beraturan dengan ukuran mulai 1µm hingga 5 mm, baik berasal dari manufaktur primer maupun sekunder yang tidak dapat larut dalam air karena memiliki sifat hidrofobik (Frias dan Nash, 2019). Secara luas, mikroplastik digolongkan berdasarkan karakter morfologi yaitu ukuran, bentuk dan warna. Jenis atau bentuk mikroplastik yang umum ditemukan yaitu fragmen, fiber, film, foam dan pellet (Widianarko dan Hantoro. 2018). Berikut merupakan klasifikasi mikroplastik berdasarkan bentuk :

Tabel 2. 1 Klasifikasi Mikroplastik Berdasarkan Bentuk

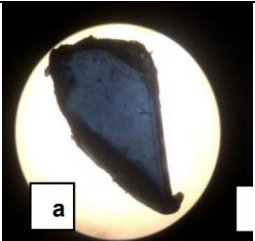
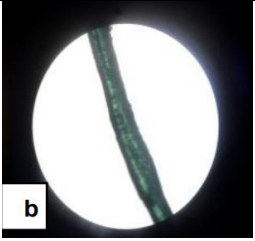
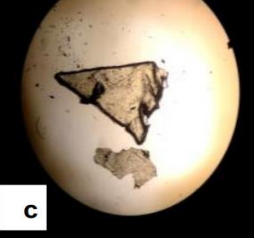
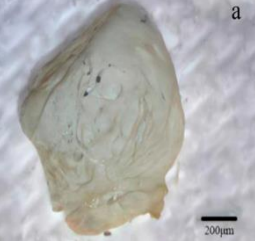
Klasifikasi Bentuk	Istilah Lain Yang Digunakan
Fragmen	Partikel tidak beraturan, kristal, bulu, bubuk, granula, potongan, serpihan
Serat/Fiber	Filamen, mikrofiber, helaian, benang
Manik-manik/film	Biji, bulatan manik kecil, bulatan mikro
Busa/Foam	Polistiren
Butiran/Pellet	Butiran resinat, nurdles, nib

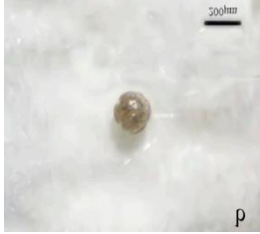
Sumber : Widianarko dan Hantoro, 2018

Mikroplastik dengan jenis fragmen terbentuk dari perubahan fragmentasi mikroplastik melewati proses fotolisi, fisik, termo-degradasi, termo-oksidasi dan degradasi (Andrady *et al.*, 2011). Menurut septian *et al.*, (2018) Fragmen memiliki ciri-ciri seperti pecahan hasil dari sampah botol, map mika, toples dan pipa paralon. Mikroplastik dengan jenis fiber merupakan jenis mikroplastik yang berbentuk serpihan kecil dengan panjang rata-rata 250 µm – 550 µm (Hiwari *et al.*, 2019). Menurut Adila, (2021) Fiber memiliki ciri-ciri berbentuk serat garis memanjang yang berasal dari tali pancing, jarring nelayan, kain sintesis, botol plastic, tali tambang dan potongan plastic. Mikroplastik dengan jenis film merupakan memiliki sifat fleksibel dan berbentuk lembaran (Virsek *et al.*, 2016). Menurut Lassen *et al.*, (2015) mikroplastik dengan jenis film merupakan mikroplastik sekunder yang bersumber dari hasil fragmentasi plastic besar seperti bungkus merk makanan atau minuman. Mikroplastik dengan jenis foam memiliki ciri-ciri berwarna putih dengan tekstur kenyal seperti berpori, secara umum mikroplastik ini berasal dari produk sekali pakai seperti *styrofoam* (Susanto., 2022). Menurut Hiwari *et al.*, (2019) mikroplastik jenis foam dikenal dengan polystyrene. Jenis foam mikroplastik dengan banyak serat menyerupai busa dan berbentuk lembaran tipis dengan ukuran 100- 1000 µm. Mikroplastik dengan jenis pellet keberadaanya banyak ditemukan di

aliran air sungai dan di dasar sedimen (Cordova dan A'an, 2016). Menurut Li et al., (2016) keberadaan pellet pada lokasi tersebut disebabkan karena pellet memiliki densitas yang bermacam-macam yaitu berkisar $0,8 \text{ g/cm}^3$. Gambar jenis mikroplastik dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Jenis Mikroplastik

No	Jenis Mikroplastik	Gambar Mikroplastik	Referensi
1	Fragmen	 Gambar 2. 1 Jenis Mikroplastik Fragmen	(Ayuningtyas Wulan C <i>et al.</i> , 2022)
2	Fiber	 Gambar 2. 2 Jenis Mikroplastik Fiber	(Ayuningtyas Wulan C <i>et al.</i> , 2022)
3	Film	 Gambar 2. 3 Jenis Mikroplastik Film	(Ayuningtyas Wulan C <i>et al.</i> , 2022)
4	Foam	 Gambar 2. 4 Jenis Mikroplastik Foam	(Wei Y <i>et al.</i> , 2022)

5	Pellet	 Gambar 2. 5 Jenis Mikroplastik Pellet	(Wei Y <i>et al.</i> , 2022)
---	--------	---	------------------------------

Berikut merupakan tabel jenis polimer mikroplastik yang sering di temukan beserta densitasnya :

Tabel 2. 3 Jenis Polimer Mikroplastik yang Banyak Ditemukan dan Densitasnya

Tipe Plastik	Densitas (g/cm⁻³)
Polyethilene	0,917 - 0,965
Polypropylene	0,9 - 0,91
Polystyrene	1,04 - 1,1
Polyamide (nylon)	1,02 - 1,05
Polyester	1,24 -2,3
Acrylic	1,09 -1,2
Polyoximethylene	1,41 - 1,61
Polyvinyl alcohol	1,19 - 1,31
Polyvinyl chloride	1,16 - 1,58
Poly methylacrylate	1,17 - 1,2
Polyethylene terephthalate	1,37 - 1,45
Alkyd	1,24 - 2,1
Polyurethane	1,2

(Sumber : Widianarko dan Inneke (2018))

Berikut merupakan tabel karakteristik nilai puncak FT-IR untuk berbagai jenis mikroplastik :

Tabel 2. 4 Karakteristik Nilai Puncak FT-IR untuk Berbagai Jenis Mikroplastik

No	Polymer	Characteristic peaks (cm ⁻¹)	Assignment	Reference
1	High density polyethylene (HDPE)	2915 2845	C-H stretching C-H stretching	Nishikida and Coates,2003; Noda

2	Low density polyethylene (LDPE)	1472	CH2 bending	et al.,2007; Asensio et al.,2009; Mecozzi et al.,2016; Jung et al., 2018
		1462	CH2 bending	
		730	CH2 rocking	
		717	CH2 rocking	
		2915	C–H stretching	Nishikida and Coates, 2003; Noda et al., 2007; Asensio et al., 2009; Mecozzi et al., 2016; Jung et al., 2018
		2845	C–H stretching	
		1467	CH2 bending	
		1462	CH2 bending	
		1377	CH2 bending	
		730	CH2 rocking	
3	Polyethylene terephthalate (PET)	717	CH2 rocking	Verleye et al., 2001; Noda et al., 2007; Asensio et al., 2009; Mecozzi et al., 2016; Jung et al., 2018
		1713	C=O stretching	
		1241	C–O stretching	
		1094	C–O stretching	
		720	Aromatic CH out-of- plane bending	
4	Polypropylene (PP)	2950	C–H stretching	Verleye et al., 2001; Noda et al., 2007; Asensio et al., 2009; Mecozzi et al., 2016; Junget al., 2018
		2915	C–H stretching	
		2838	C–H stretching	
		1455	CH2 bending	
		1377	CH3 bending	
		1166	CH bending, CH3 rocking, C–C stretching	
		997		
		972	CH3 rocking, CH3 bending, CH bending	
		840		
		808	CH3 rocking, C–C stretching, CH2 rocking, C–CH3 stretching, CH2 rocking, C–C stretching, C–CH stretching	
5	Polystyrene (PS)	3024	Aromatic C–H stretching	Verleye et al., 2001; Noda et al., 2007; Asensio et al., 2009; Mecozzi et al., 2016; Jung et al., 2018
		2847	C–H stretching	
		1601	Aromatic ring stretching	
		1492	Aromatic ring stretching	
		1451	CH2 bending	
		1027	Aromatic CH bending	
		694	Aromatic CH out-of- plane bending	
		537		
6	Polyvinyl chloride (PVC)	1427	CH2 bending	Beltran and Marcilla, 1997; Verleye et al., 2001; Noda et al., 2007; Jung et al., 2018
		1331	CH bending	
		1255	CH bending	
		1099	C–C stretching	
		966	CH2 rocking	
		616	C–Cl stretching	

7	Polyurethane (PU)	2865	C-H stretching	Verleye et al., 2001; Noda et al., 2007; Asefnejad et al., 2011; Jung et al., 2018
		1731	C=O stretching	
		1531	C-N stretching	
		1451	CH ₂ bending	
		1223	C(=O)O stretching	
8	Nylon (all polyamides)	3298	N-H stretching	Rotter and Ishida, 1992; Verleye et al., 2001; Noda et al., 2007; Mecozzi et al., 2016; Jung et al., 2018
		2932	CH stretching	
		2858	CH stretching	
		1634	C=O stretching	
		1538	NH bending, C-N stretching	
		1464	CH ₂ bending	
		1372	CH ₂ bending	
		1274	NH bending, C-N stretching	
		1199	CH ₂ bending	
9	Polycarbonate (PC)	687	NH bending, C=O bending	Verleye et al., 2001, Noda et al., 2007, Asensio et al., 2009, Jung et al., 2018
		2966	CH stretching	
		1768	C=O stretching	
		1503	Aromatic ring stretching	
		1409	Aromatic ring stretching	
		1364	CH ₃ bending	
		1186	C-O stretching	
		1158	C-O stretching	
		1013	Aromatic CH in plane bending	
10	Cellulose acetate (CA)	828	Aromatic CH out- of- plane bending	Ilharco and Brito de Barros, 2000; Verleye et al., 2001; Noda et al., 2007; Jung et al., 2018
		1743	C=O stretching	
		1368	CH ₃ bending	
		904	Aromatic ring stretching or CH bending	
		600	O-H bending	
11	Acrylonitrile butadiene styrene (ABS)	2922	C-H stretching	Verleye et al., 2001; Jung et al., 2018
		1602	Aromatic ring stretching	
		1494	Aromatic ring stretching	
		1452	CH ₂ bending	
		966	=C-H bending	
		759	Aromatic CH out- of- plane bending, =CH bending	
		698	Aromatic CH out- of-plane bending	
12	Polytetrafluorethylene (PTFE)	1201	CF ₂ stretching	Coates, 2000; Verleye et al., 2001; Jung et al., 2018
		1147	CF ₂ stretching	
		638	C-C-F bending	
		554	CF ₂ bending	

13	Poly (methyl methacrylate)(PMMA or acrylic)	509	CF ₂ bending	Verleye et al., 2001; Jung et al., 2018
		2992	C-H stretching	
		2949	C-H stretching	
		1721	C=O stretching	
		1433	CH ₂ bending	
		1386	CH ₃ bending	
		1238	C-O stretching	
		1189	CH ₃ rocking	
		1141	C-H bending	
		985	CH ₃ rocking	
		964	C-H bending	
		750	CH ₂ bending, C=O bending	
14	Ethylene vinyl acetate (EVA)	2917	C-H stretching	Verleye et al., 2001; Asensio et al., 2009; Jung et al., 2018
		2848	C-H stretching	
		1740	C = O stretching	
		1469	CH ₂ bending, CH ₃ bending	
		1241	C(=O)O stretching	
		1020	C-O stretching	
		720	CH ₂ rocking	
15	Nitrile	2917	=C-H stretching	Coates, 2000; Verleye et al., 2001; Jung et al., 2018
		2849	=C-H stretching	
		2237	CN stretching	
		1605	C=C stretching	
		1440	CH ₂ bending	
		1360	CH ₂ bending	
		1197	CH ₂ bending	
		967	=C-H bending	
16	Latex	2960	C-H stretching	Guidelli et al., 2011; Jung et al., 2018
		2920	C-H stretching	
		2855	C-H stretching	
		1167	C=C stretching	
		1447	CH ₂ bending	
		1376	CH ₃ bending	

(Sumber : Veerasingam *et al* (2020))

Berdasarkan pengamatan yang dilakukan oleh Utami *et al.*, (2022) terdapat mikroplastik pada sampel air lindi IPL TPA Piyungan, kelimpahan mikroplastik pada kolam inlet rata-rata sebesar $154,80 \pm 21,22$ partikel/L dan pada kolam outlet rata-rata sebesar $135,60 \pm 12,18$ partikel/L. Jenis mikroplastik yang teridentifikasi diantaranya fiber, film, fragmen dan granula.

2.3 Keberadaan Logam Berat Timbal (Pb) dan Besi (Fe) pada Air Lindi

Logam berat merupakan kelompok unsur logam yang mempunyai massa jenis lebih dari 5 gr/cm^3 dimana pada jumlah tertentu dapat berubah menjadi racun bagi lingkungan (Supriyanti dan Soenardjo, 2015). Logam berat merupakan satu kontaminan yang dapat menjadi subjek pencemaran. Menurut Anisyah *et al.*, (2016) kontaminasi logam berat yang berlebih dapat berdampak pada kesehatan manusia seperti menyerang saraf, merusak sel darah

merah dan turunya konsentrasi otak. Berdasarkan *United State Environment Protection Agency* (US EPA) bahwasanya logam berat sebagai pencemar utama berbahaya yaitu Sb, Ag, Be, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Se, Sr dan Zn (Sukhendrayatna, 2001). Menurut Istarani and Pandebesie, (2014) masuknya logam berat ke lingkungan yaitu secara alami (natural) dan campur tangan manusia (antropogenik). Logam berat masuk ke lingkungan secara alami dikarenakan adanya proses pelapukan, aktivitas vulkanik atau kondisi cuaca. Sedangkan proses campur tangan manusia yaitu melewati kegiatan industri yang menggunakan logam berbagai jenis dan aktivitas pertanian dalam penggunaan pupuk buatan (Yuliastrin *et al.*, 2018). Menurut Liu *et al.*, (2009) logam berat masuk pada air alami dan menjadi bagian dari sistem suspensi air dan sedimen melalui proses pertukaran ion, presipitasi dan absorpsi. Selain itu logam yang terdapat pada sistem perairan distribusinya dikendalikan oleh kesetimbangan dinamik dan interaksi fisika kimia, hal tersebut dipengaruhi oleh konsentrasi dan tipe senyawa, parameter pH, kondisi reduksi oksidasi dan bilangan oksidasi dari logam tersebut.

Menurut Juharna *et al.*, (2022) logam berat Pb atau timbal merupakan logam kelas B yang memiliki daya racun besar. Kontaminasi Pb dapat menimbulkan gangguan genetik maupun fisik (Prasetya *et al.*, 2007). Bahan bakar minyak mendapat zat tambahan tetraethyl (zat aditif) yang mengandung timbal (Pb). Air lindi pada TPA mengandung amoniak, nitrat, nitrit, timbal dan mikroba parasit seperti kutu air (*sacrotis sp*) yang berpotensi menyebabkan gatal-gatal pada kulit (Sutomo *et al.*, 2000 dalam Susanto *et al.*, 2004). Berdasarkan penelitian Irhamni *et al.*, (2017) ditemukan kandungan logam berat timbal (Pb) sebesar 0,0602 ppm pada sampel air lindi TPA Kota Banda Aceh menggunakan metode *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS). Berdasarkan penelitian Puspitarini *et al.*, (2023) ditemukan kandungan logam berat timbal (Pb) pada saluran inlet sebanyak 0,83 mg/L.

Menurut Irhamni *et al.*, (2017) logam berat Fe termasuk logam berat esensial yaitu logam berat dalam jumlah tertentu dibutuhkan oleh organisme akan tetapi logam ini dapat menjadi racun apabila dalam jumlah berlebihan. Logam berat besi (Fe) adalah logam berat yang banyak dimanfaatkan pada industri baja, electroplating atau sebagai logam pendukung dalam berbagai industri. Hasil dari pemanfaatan tersebut terdapat limbah yang dapat mencemari air dan air tanah (Sylvia *et al.*, 2021). Berdasarkan penelitian Irhamni *et al.*, (2017) terdapat konsentrasi logam berat besi (Fe) sebesar 10,9191 ppm, konsentrasi Fe yang tinggi ini ditandai dengan warna lindi hitam coklat kepekatan.

2.4 Hubungan Mikroplastik dengan Logam Berat

Diketahui bahwasanya mikroplastik berperan sebagai carrier atau pembawa dari bahan kimia berbahaya seperti logam berat dan polutan organik. Hal ini dapat terjadi dikarenakan

ukuran mikroplastik yang kecil memiliki permukaan yang luas sehingga bahan kimia mampu terserap pada permukaan mikroplastik (Basri *et al.*, 2020). Polutan yang menempel pada permukaan mikroplastik sangat beragam dan bergantung pada kondisi lingkungan sekitar (Kristein *et al.*, 2016). Menurut Holmes *et al.*, 2014 pada umumnya mekanisme adsorpsi melibatkan penggabungan bahan kimia beracun ke permukaan mikroplastik, sedangkan kapasitas dari adsorpsi bahan kimia dipengaruhi proses pelapukan dan jenis plastik. Logam berat merupakan salah satu faktor terjadinya pewarnaan pada mikroplastik, dan Ketika plastic di buat penambahan logam berat akan mempengaruhi pada masa degradasi (Massos, 2017). Menurut Verla *et al.*, (2019) terdapat tiga mekanisme yang memungkinkan bahan polutan terserap mikroplastik, diantaranya yaitu adsorpsi ke mikroplastik sebagai adsorben hidrofobik, zat tambahan dan bahan kimia yang terkandung dalam resin, pertumbuhan biofilm yang dibantu (*biofilm growth assisted*).

2.5 Dampak

Paparan mikroplastik dan akibat potensinya untuk terakumulasi dalam saluran cerna organisme serta kemungkinannya untuk berpindah dari saluran pencernaan ke sistem peredaran darah atau jaringan lainnya. Ukuran dari mikroplastik mampu mengadsorpsi bahan kimia berbahaya maka terdapat kemungkinan terakumulasi pada sistem rantai makanan yang berdampak pada Kesehatan manusia (Basri *et al.*, 2020). Dalam ekosistem terrestrial, mikroplastik dapat mengurangi berat cacing dan ekosistem yang terdapat pada tanah. Adanya mikroplastik menyebabkan beberapa mikroba tumbuh dan membentuk biofilm berlendir pada permukaan mikroplastik yang menyebabkan resiko yaitu adanya tempat untuk kolonisasi spesies yang berbeda. Selain itu patogen yang terdapat dalam proses kolonisasi akan mudah berpindah dari satu tempat ke tempat lain dan menyebarkan potensi penyakit (Wu, 2019). Berdasarkan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia yang menjelaskan terdapat penelitian dari Universitas Kedokteran Vienna dan Badan Lingkungan Hidup Vienna, Austria yang dipresentasikan pada pertemuan United European Gastroenterology di Vienna. Penelitian ini meneliti feses 8 orang peserta uji dari Austria, Finlandia, Italia, Belanda, Polandia, Rusia, Inggris dan Jepang, hasil penelitian ini yaitu terdapat mikroplastik pada kotoran manusia dan menemukan 9 dari 10 jenis plastik yang dicari oleh peneliti menggunakan *Fourier Transform Infrared Microspectrometer*. Selain itu, berdasarkan riset yang dilakukan oleh Lembaga Kajian dan Konservasi Ekologi Lahan Basah (Ecoton) menemukan 80 persen dari 103 ikan yang ditangkap di anak Kali Brantas Jawa Timur periode Juli sampai September 2018 mengandung mikroplastik.

2.6 Penelitian Terdahulu

Berikut merupakan tabel penelitian terdahulu mengenai kelimpahan mikroplastik dan keberadaan logam berat pada air lindi :

Tabel 2. 5 Penelitian Terdahulu

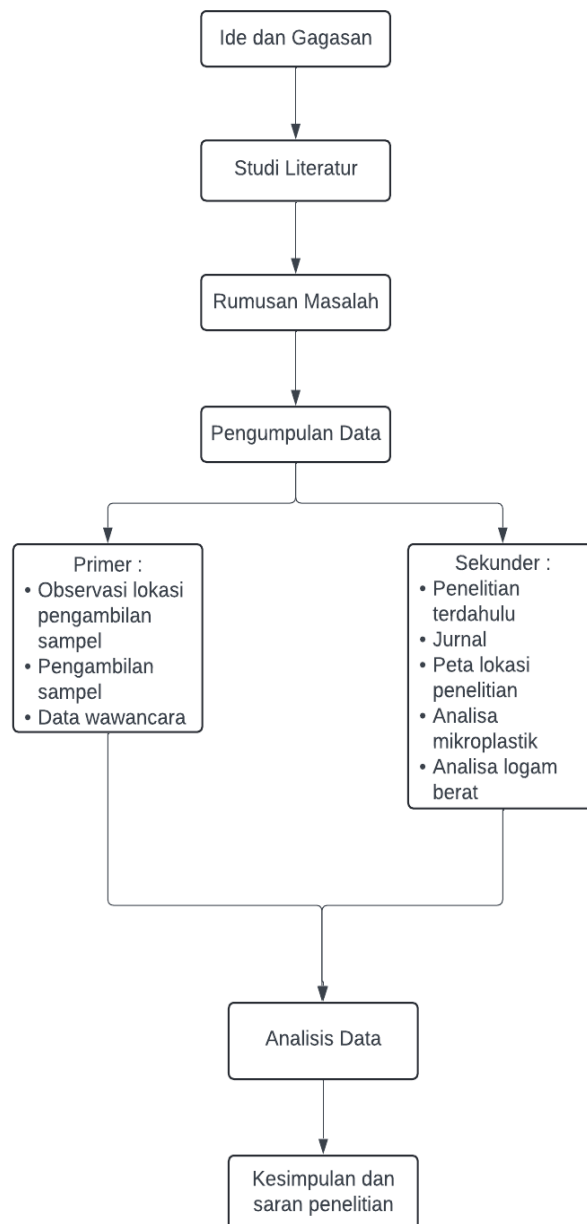
No	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Nama Peneliti
1	Analisis Kelimpahan Mikroplastik pada Air Lindi di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Gampong Jawa Banda Aceh	Kelimpahan mikroplastik paling tinggi terdapat pada lokasi T1 yaitu 870/0,2 L, sedangkan lokasi dengan kelimpahan paling rendah terdapat pada T4 yaitu 110 partikel/L. Bentuk mikroplastik yang ditemukan diantaranya fragmen, film, pellet, fiber. Bentuk fragmen sangat mendominasi. Berdasarkan pengamatan, warna dari mikroplastik yang ditemukan diantaranya hitam, abu-abu, coklat, merah, biru, hijau, dimana warna coklat sangat mendominasi. Berdasarkan uji FTIR mikroplastik teridentifikasi adanya polimer <i>Nylon</i> , <i>Polycarbonate</i> (PC), <i>Low-density polyethylene</i> (LDPE), <i>Polyvinyl chloride</i> (PVC) <i>Polypropylene</i> (PP) dan <i>Polystyrene</i> (PS).	Alma Shadrina (2023)
2	Deteksi Pencemaran Mikroplastik pada Air Lindi di TPA Piyungan Yogyakarta Indonesia	Teridentifikasi adanya mikroplastik pada lokasi inlet dengan rata-rata sebesar $154,80 \pm 21,22$ partikel/L dan outlet sebesar $135,60 \pm 12,18$ partikel/L. Bentuk mikroplastik yang terdapat pada lokasi penelitian ini yaitu fiber, film, fragmen dan granule. Berdasarkan uji FTIR mikroplastik teridentifikasi adanya polimer <i>Polystyrene</i> (PS), <i>Polyvinyl chloride</i> (PVC) dan <i>Polyethylene</i> (PE).	Inggita Utami & Agustina (2022)

3	Serapan Logam Berat Esensial dan Non Esensial pada Air Lindi TPA Kota Banda Aceh Dalam Mewujudkan Pembangunan Berkelanjutan	Air lindi TPA kota Banda Aceh yang dianalisis menggunakan metode AAS didapatkan konsentrasi logam berat besi (Fe) yang sangat tinggi yaitu sebesar 10,9191 ppm. Selain itu teridentifikasi logam berat merkuri (Hg) sebesar 0,00463 ppm, timbal (Pb) 0,0602 ppm dan kromium (Cr) sebesar 0,0502 ppm.	Irhamni <i>et al.</i> , (2017)
4	Studi Analisis Logam Berat Timbal dan Kadmium Air Lindi dan Air Sumur di TPA Pasuruhan Kabupaten Magelang	Pada penelitian ini teridentifikasi adanya logam berat timbal (Pb) dan cadmium (Cd) pada kolam inlet dan kolam tampung. Pada kolam inlet konsentrasi logam berat Pb sebesar 0,83 mg/L sedangkan konsentrasi logam berat Cd sebesar 0,05 mg/L. Pada kolam tampung konsentrasi logam berat Pb sebesar 0,43 mg/L, sedangkan konsentrasi logam berat Cd sebesar 0,04 mg/L. Konsentrasi logam berat yang didapatkan pada setiap sampel belum memenuhi baku mutu.	Puspitarini, R, <i>et al.</i> , (2023)
5	Microplastics in landfill leachate : Sources, detection, occurrence and removal	Pada penelitian yang dilakukan pada TPA di beberapa negara seperti Cina, Indonesia, India, Prancis, Finlandia, Norway, Ice land, Islandia, Swedia. Dari penelitian yang dilakukan, teridentifikasi adanya mikroplastik pada air lindi TPA yang diolah dan tidak diolah hasilnya bervariasi di antara 0-382 dan 0-2,7 butir L^{-1}	Kabir, M. S <i>et al.</i> , (2023)

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Dalam melakukan penelitian diperlukan adanya tahapan penelitian dalam bentuk diagram alir untuk mempermudah gambaran dalam kegiatan yang dilaksanakan. Pada penelitian ini data yang diperlukan diantaranya data primer dan sekunder. Berikut merupakan diagram alir tahapan penelitian :



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Waktu dan Lokasi

Penentuan titik sampling ditetapkan dengan pertimbangan jumlah zona landfill yang terdapat pada TPA Piyungan. Titik lokasi dibagi menjadi empat yang terletak di inlet dan outlet Instalasi Pengolahan Air Lindi (IPAL) zona 1, inlet dan outlet Instalasi Pengolahan Air Lindi (IPL) zona 2 yang dapat dilihat pada gambar 3.2. Tahap pengambilan sampel uji dilaksanakan di TPA Piyungan kampung Bendo RT. 04 RW. 44 Dusun Ngablak Desa Sitimulyo Kecamatan Piyungan Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Pengambilan sampel dilakukan selama satu hari. Tahap analisis logam berat timbal (Pb) dan besi (Fe) pada mikroplastik dilakukan di Laboratorium Kualitas Lingkungan Universitas Islam Indonesia selama 2 bulan. Berikut merupakan gambar peta titik lokasi pengambilan sampel :



Gambar 3. 2 Peta Titik Lokasi Sampling

3.3 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut : Botol kaca ukuran 350 L sebanyak 8 buah, botol plastic ukuran 1 L sebanyak 4 buah, cooler box, pH universal, timbangan analitik, cawan petri, pinset, mikroskop optic, Erlenmeyer 250 mL, corong, gelas beker 250 mL, gelas beker 500 mL, tube, rak tube, labu takar 50 mL, vial, gelas ukur, pinset,

pipet tetes, batang pengaduk kaca, thermometer, *magnetic stirrer*, kaca arloji, centrifuge, vacuum, *hot plate*. Sedangkan bahan yang digunakan adalah sebagai berikut : Sampel air lindi, aquades, larutan H₂O₂ 30%, Fe (II) 0,05 mol, NaCl jenuh, larutan HNO₃ 3 pekat, kertas whattman ukuran 0,45.

3.4 Analisis Sampel

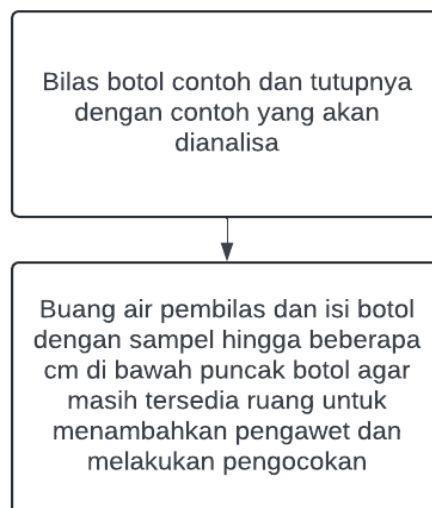
Pengambilan sampel dilakukan pada 4 titik lokasi yang terdiri dari di inlet dan outlet Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) zona 1, inlet dan outlet Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) zona 2. Titik lokasi pengambilan sampel seperti pada gambar 1. Pengambilan sampel dilakukan sesuai dengan acuan SNI 6989.59:2008 tentang Air dan Air Limbah. Sebelum sampel diambil dilakukan pengukuran pH. Setiap titik lokasi pengambilan sampel logam berat diletakkan pada botol berbahan plastik dan botol kaca untuk sampel mikroplastik. Dari tempat pengambilan sampel menuju Laboratorium Analisis Lingkungan sampel dibawa menggunakan *cooler box* dengan tujuan agar sampel tetap stabil (Khaira & Afdal, 2022). Proses pengambilan sampel dapat dilihat pada gambar 3.4 sampai 3.6.



Gambar 3. 3 Proses Pengambilan Sampel



Gambar 3. 4 Proses Penyimpanan Sampel



Gambar 3. 5 Diagram Alir Pengambilan Sampel

Langkah awal pada penelitian ini yaitu sampel dilakukan penyaringan menggunakan saringan mesh ukuran 5 mm yang bertujuan memisahkan sampel mikroplastik dari makroplastik. Partikel yang tertahan dengan ukuran >5 mm dilakukan analisis makroplastik dengan *Fourier-transform infrared spectroscopy* (FT-IR) yang bertujuan mengetahui jenis polimer pada makroplastik pada air lindi, sedangkan filtrat yang lolos dari penyaringan mengandung partikel mikroplastik yang selanjutnya akan dilakukan preparasi dengan metode *Wet Peroxide Oxidation* (WPO) menggunakan larutan H_2O_2 30 % sebanyak 20 ml yang bertujuan untuk menghilangkan zat organik dan penambahan larutan Fe (II) sebanyak 20 ml yang bertujuan sebagai katalis. Proses *Wet Peroxide Oxidation* (WPO) dengan menggunakan *hot plate stirrer* dengan suhu 60 derajat celcius hingga sampel berubah menjadi jernih.

Setelah dilakukan WPO, langkah selanjutnya yaitu density separation dengan cara menambahkan NaCl jenuh sebanyak 6 gram NaCl jenuh per 20 ml sampel dan diaduk hingga NaCl larut. Setelah itu sampel didiamkan selama 24 jam (Ayuningtyas dkk., 2019). Setelah itu sampel dilakukan penyaringan menggunakan saringan mesh ukuran 0,5 mm dimana partikel yang nantinya lolos berukuran $< 0,5$ mm akan dilakukan penyaringan menggunakan kertas whattman *fiber* (menggunakan vacuum) dan di tunggu hingga kering. Whattman fiber yang sudah kering dilakukan analisis menggunakan mikroskop lalu FT-IR untuk mengetahui kelimpahan mikroplastik yang meliputi warna, jenis, jumlah dan polimernya. Sedangkan partikel yang tertahan pada saringan dengan ukuran $>0,5$ mm dilakukan identifikasi berat, jenis

dan jumlah mikroplastik. Selanjutnya tahap destruksi menggunakan HNO₃ sebanyak 5 ml sebelum dilakukan analisis menggunakan instrumen *Atomic Absorption Spectrofotometry* (AAS). Berikut merupakan proses analisis kelimpahan mikroplastik yang dapat dilihat pada gambar 3.7 sampai 3.12.



Gambar 3. 6 Wet Peroxide Oxidation (WPO)



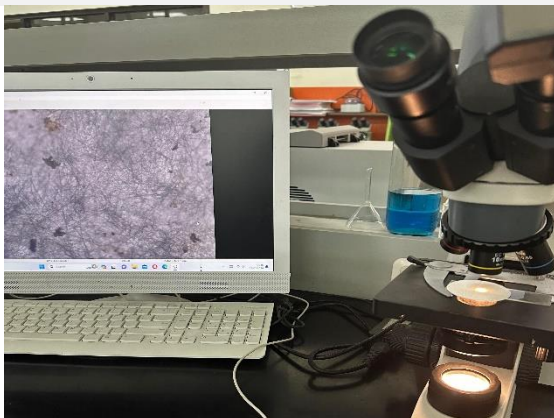
Gambar 3. 7 Density Separation



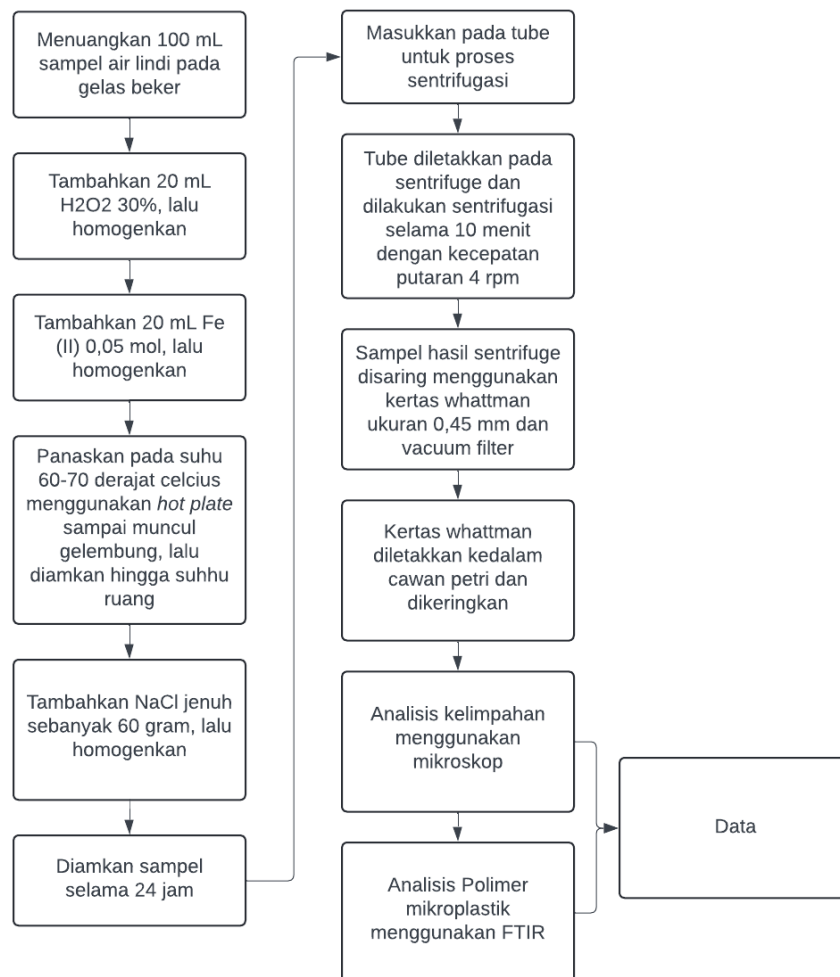
Gambar 3. 8 Penyaringan



Gambar 3. 9 Sentrifugasi

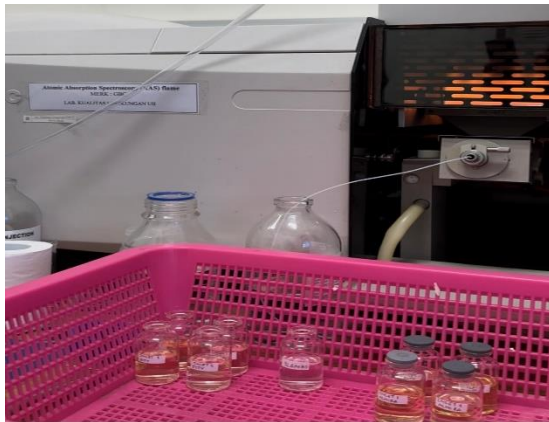


Gambar 3. 10 Mikroskop



Gambar 3. 11 Diagram Alir Pengujian Mikroplastik pada Sampel Air Lindi

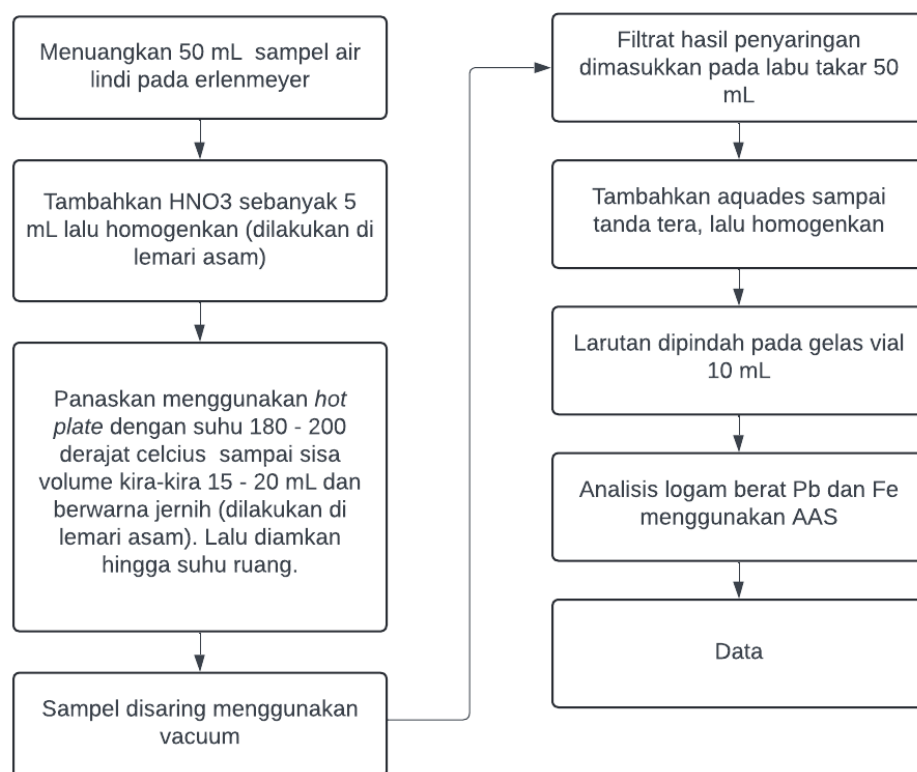
Penelitian logam berat pada air lindi sesuai dengan SNI 6989-84:2019 diawali dengan destruksi sampel air lindi dengan menambahkan 5 ml larutan HNO_3 pekat pada 50 ml sampel lalu dipanaskan pada *hot plate* dengan suhu 180-200 derajat celcius hingga sampel menjadi jernih dan berkurang atau menyusut dan didiamkan hingga suhu ruang. Setelah itu sampel dikembalikan pada volume awal dengan cara menambahkan aquades. Tahap terakhir yaitu analisis menggunakan instrumen *Atomic Absorption Spectrofotometry* (AAS). Berikut merupakan proses analisis logam berat Pb dan Fe yang dapat dilihat pada gambar 3.13 sampai 3.15.



Gambar 3. 12 Atomic Absorption Spectrofotometry (AAS)



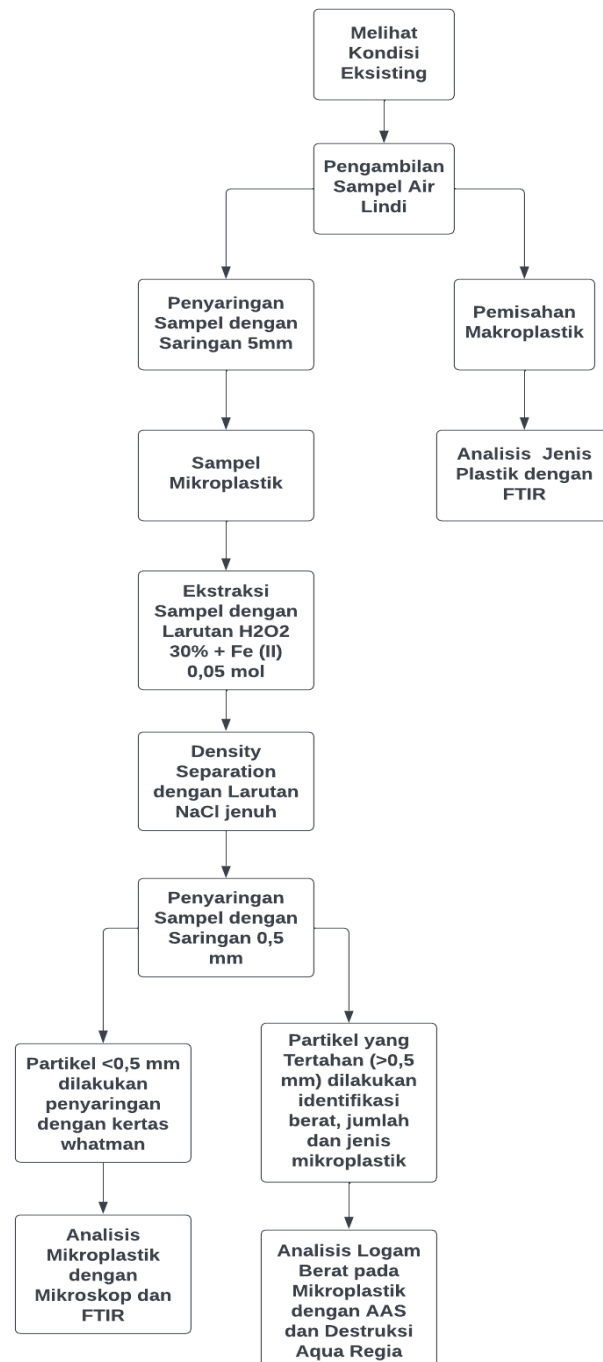
Gambar 3. 13 Destruksi



Gambar 3. 14 Diagram Alir Pengujian Logam Berat pada Sampel Air Lindi

Untuk analisis logam berat pada mikroplastik proses yang dilakukan sama seperti analisis logam berat pada air lindi. Tetapi terdapat perbedaan dikarenakan sampel yang di gunakan berbeda. Dimana sebelum penambahan HNO₃ sebanyak 5 mL kertas whattman yang terdapat

sampel mikroplastik dimasukkan ke dalam Erlenmeyer lalu ditambahkan aquades sebanyak 50 mL.



Gambar 3. 15 Diagram Alir Pengujian Mikroplastik dan Logam Berat

3.5 Analisis Data

3.5.1 Analisis Mikroplastik pada Air Lindi TPA Piyungan

Dari sampel air lindi yang telah melalui beberapa proses, selanjutnya menghitung kelimpahan mikroplastik berdasarkan *National Oceanic and Atmosphere Administration* (NOAA), dimana jumlah partikel mikroplastik pada setiap sampel dibandingkan dengan total volume air tersaring (Masura et al., 2015) :

$$K = \frac{n}{v}$$

K : Kelimpahan mikroplastik / jumlah mikroplastik yang tersaring di whattman (partikel /L)

n : Jumlah mikroplastik (partikel)

v : Volume air tersaring / volume sampel (L)

Warna dan jenis mikroplastik yang didapat disajikan dalam bentuk persentase dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Persentase (\%)} = \left(\frac{\text{jumlah partikel jenis atau warna (partikel)}}{\text{total keseluruhan partikel jenis atau warna (partikel)}} \right) \times 100$$

Analisis jenis polimer dilakukan berdasarkan hasil pembacaan sampel menggunakan spektroskopi FT-IR yang disajikan dalam bentuk spektrum gelombang. Panjang gelombang yang didapatkan berdasarkan referensi panjang gelombang terserap oleh mikroplastik (Yona et al., 2021)

3.5.2 Analisis Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Logam Berat Besi (Fe) pada Mikroplastik Air Lindi TPA Piyungan

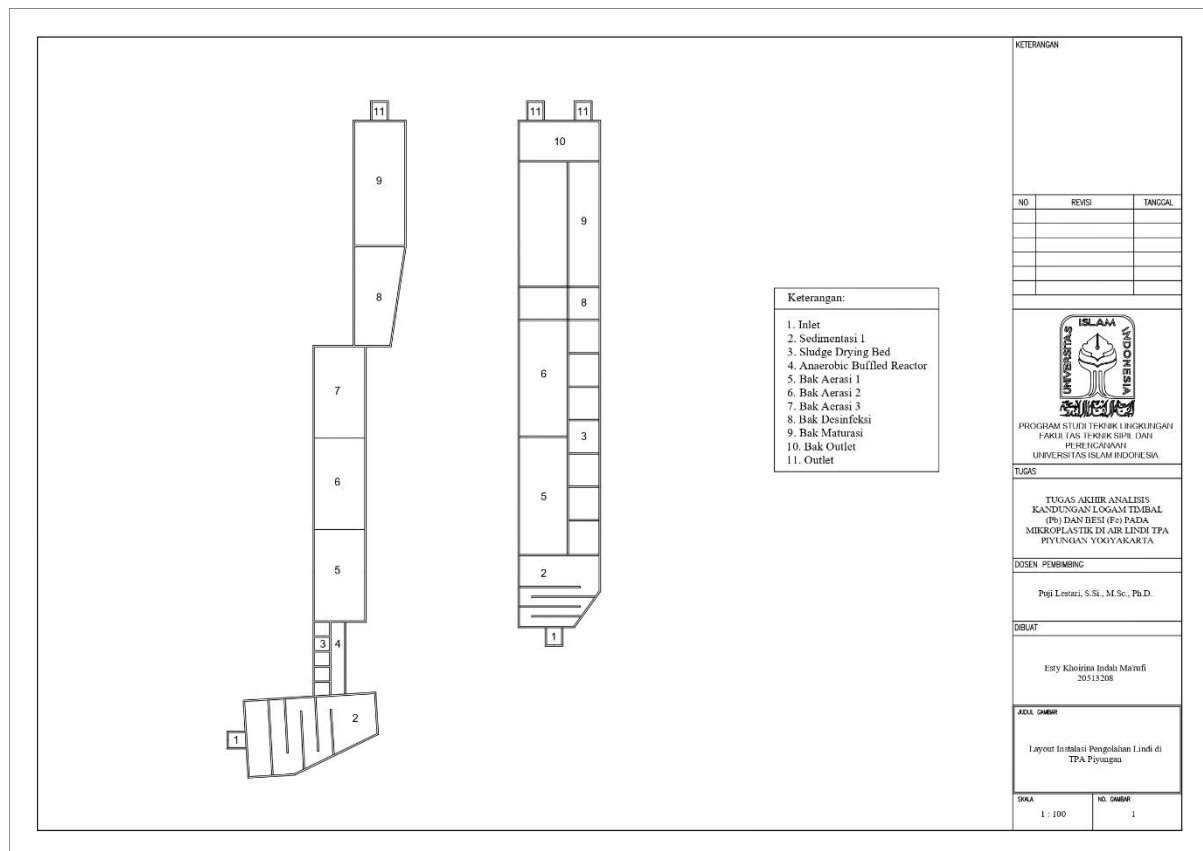
Analisis kandungan logam berat diawali dengan menggunakan instrumen AAS untuk mengetahui konsentrasi logam berat yang terdapat pada mikroplastik. Konsentrasi yang didapatkan dibagi dengan berat sampel mikroplastik pada kertas whattman dikurangi dengan kertas whattman kosong. Perhitungan kandungan logam berat pada mikroplastik menggunakan rumus :

$$\text{Kandungan Pb atau Fe pada mikroplastik } \left(\frac{mg}{g} \right) = \frac{\text{Konstrentasi Pb atau Fe X Volume sampel AAS}}{\text{Berat Mikroplastik(g)}}$$

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS DATA

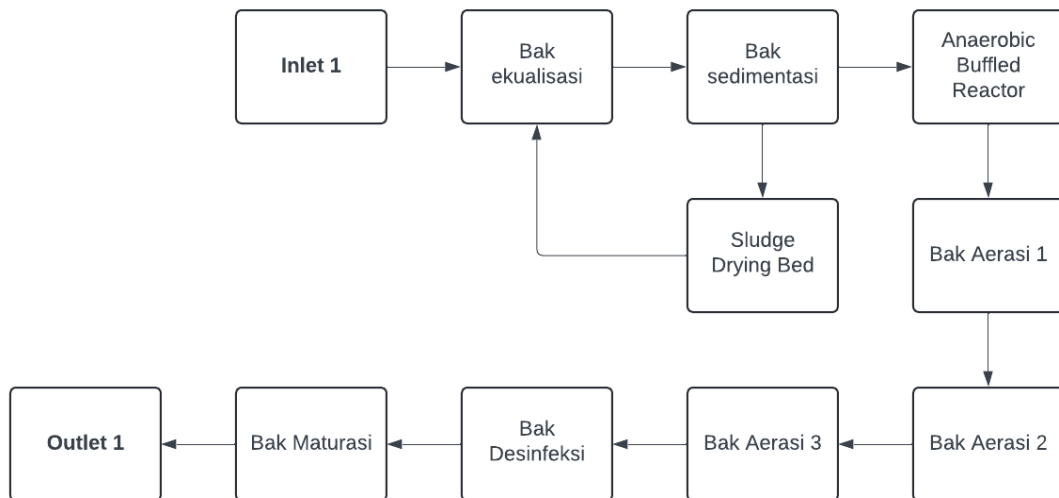
4.1 Karakteristik Air Lindi

Proses pengambilan sampel dilakukan pada 4 titik yang berbeda tetapi masih dalam satu wilayah TPA Piyungan yaitu pada Instalasi Pengolahan Air Lindi yang dapat dilihat pada gambar 4.1. Perlu diketahui bahwasanya kondisi air lindi, proses yang dilalui air lindi dan kondisi lingkungan sekitar pada setiap titik sampling berbeda beda. Oleh karena itu peneliti mencoba mendeskripsikan kondisi pada setiap titik sampling yang dapat dilihat pada tabel 4.1.

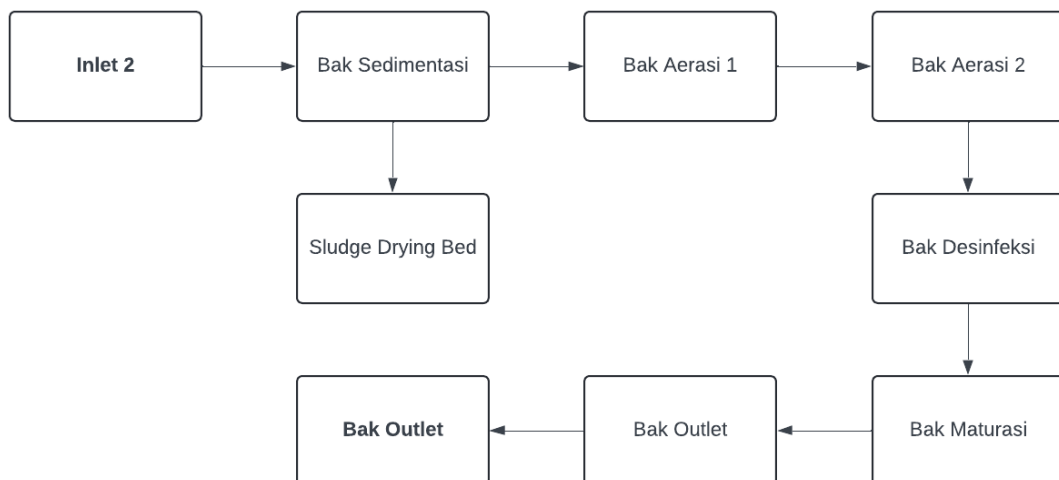


Gambar 4. 1 Layout IPL TPA Piyungan

Berrikut merupakan diagram alir pengolahan air lindi pada Instalasi Pengolahan Air Lindi (IPL) TPA Piyungan :



Gambar 4. 2 Diagram Alir Proses IPL 1



Gambar 4. 3 Diagram Alir Proses IPL 2

Berrikut merupakan tabel deskripsi kondisi setiap titik lokasi pengambilan sampel :

Tabel 4. 1 Deskripsi Titik Pengambilan Sampel

No	Nama	Deskripsi
1	Titik 1 (inlet IPL 1)	- Mengalirkan air lindi dari area <i>landfill</i> 1 menuju kolam - Titik lokasi ini terletak di sebelah kiri bawah jalur masuk kendaraan menuju area <i>landfiil</i>

		- Pada titik ini terdapat saluran berbahan besi yang berbentuk tabung. - Dekat dengan tempat penampungan sampah sementara yang nantinya akan dijual oleh pengepul.
2	Titik 2 (outlet IPL 1)	- Lokasi ini merupakan bak proses terakhir dari pengolahan air lindi sebelum dialirkan menuju sungai. - Titik lokasi ini tepat berada di sebelah bak klorinasi. - Secara elevasi outlet 1 lebih rendah dari outlet 2.
3	Titik 3 (inlet IPL 2)	- Mengalirkan air lindi dari area <i>landfill</i> 2 dan 3 (transisi). - Titik lokasi ini berada di samping jalan utama menuju area <i>landfill</i> 2 dan 3 (transisi). - Pipa saluran ini berwarna hitam dan berbahan plastik.
4	Titik 4 (outlet IPL 2)	- Titik ini terletak di sebelah area <i>landfill</i> 2. - Secara elevasi titik ini lebih tinggi dari titik sampling 1, 2 dan lebih rendah dari titik sampling 3.

Sampel air lindi dari inlet Instalasi Pengolahan Lindi (IPL) 1 memiliki karakteristik berwarna coklat kehitaman dengan pH 8 (basa), suhu 25°C dan bau yang menyengat. Sampel outlet IPL 1 memiliki karakteristik berwarna kuning dengan pH 8 (basa), suhu 26°C dan bau yang menyengat. Sampel inlet IPL 2 memiliki karakteristik berwarna kuning dengan pH 6 (asam), suhu 28°C dan bau yang menyengat. Sampel outlet IPL 2 memiliki karakteristik berwarna hitam dengan pH 8 (basa), suhu 25°C dan bau yang menyengat. Berikut merupakan karakteristik sampel air lindi TPA Piyungan :

Tabel 4. 2 Karakteristik Sampel Air Lindi TPA Piyungan

Nama Sampel	Lokasi	Karakteristik
Inlet 1	7°52'07"S 110°25'49"E	 Gambar 4. 4 Sampel Air Lindi Inlet 1 Warna : Coklat kehitaman pH : 8 Suhu : 25°C Bau : Menyengat
Outlet 1	7°52'03"S 110°25'48"E	 Gambar 4. 5 Sampel Air Lindi Outlet 1 Warna : Kuning pH : 8 Suhu : 26°C Bau : Menyengat

Inlet 2	7°52'03"S 110°25'50"E	 Gambar 4. 6 Sampel Air Lindi Inlet 2 Warna : Coklat pekat pH : 6 Suhu : 28°C Bau : Menyengat
Outlet 2	7°52'07"S 110°25'49"E	 Gambar 4. 7 Sampel Air Lindi Outlet 2 Warna : Hitam pH : 8 Suhu : 25°C Bau : Menyengat

4.1.1 Logam Berat pada Air Lindi

Pada penelitian ini teridentifikasi logam berat timbal (Pb) dan besi (Fe) menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS). Berikut merupakan kandungan logam berat Pb dan Fe yang teridentifikasi pada air lindi TPA Piyungan :

Tabel 4. 3 Kandungan Logam Berat Pb dan Fe pada Air Lindi TPA Piyungan

Sampel	Logam Berat Pb (mg/L)	Logam berat Fe (mg/L)
Inlet 1	0,45	34,16
Inlet 2	0,23	5,06
Outlet 1	<0,08	72,89
Outlet 2	0,22	1,61

Hasil analisis menunjukkan bahwa teridentifikasi logam berat Pb dan Fe pada setiap titik lokasi. Akan tetapi pada sampel outlet 1 konsentrasi logam berat Pb < 0,08 mg/L. Hal ini dapat disebabkan karena logam Pb tidak ada atau ada tetapi konsentrasinya sangat kecil. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Galarpe & Richard, (2014) pada Cebu City Sanitary Landfill Filipina, teridentifikasi logam berat Pb sebesar 0,1968 mg/L. Sedangkan logam berat Fe pada setiap sampel lebih tinggi dari kandungan logam berat Pb. Tingginya logam berat Fe dapat dipengaruhi keadaan lingkungan sekitar, seperti pipa air lindi yang berbahan besi. Tingginya konsentrasi logam berat Fe pada penelitian ini juga sesuai dengan hasil penelitian Irhamni et al, (2017) bahwasanya pada IPL TPA Kota Banda Aceh konsentrasi logam berat Fe lebih tinggi dari konsentrasi logam berat yang lain yaitu sebesar 10,9191 ppm atau setara dengan 109066,41311 mg/L.

Berdasarkan tabel 4.3 logam berat mengalami penurunan dari inlet ke outlet baik pada Instalasi Pengolahan Air Lindi 1 maupun 2. Penurunan konsentrasi ini dapat disebabkan dari adanya proses pengolahan yang telah dilewati oleh logam berat.

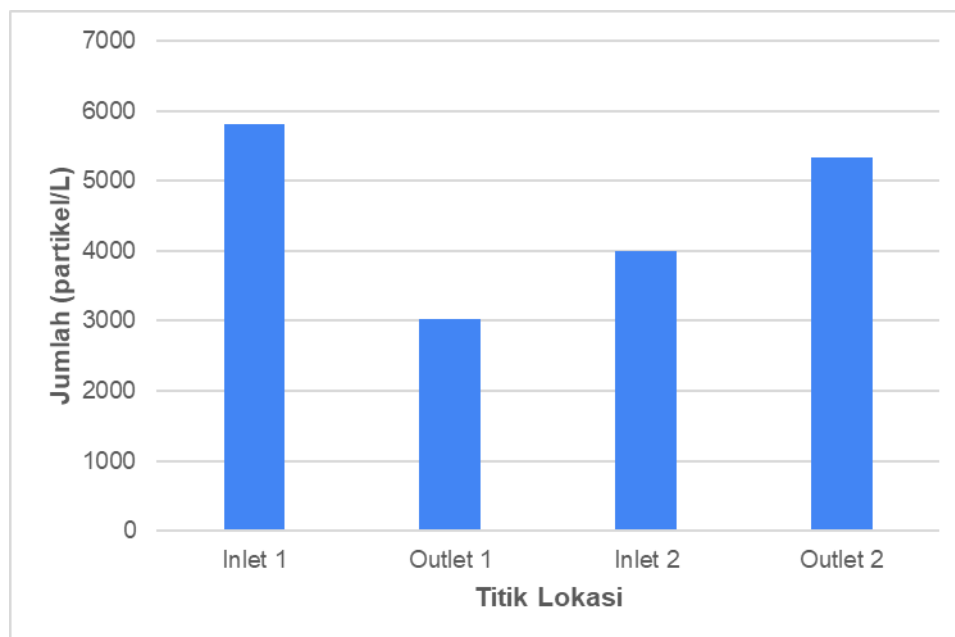
4.2 Identifikasi Mikroplastik pada Air Lindi

Mikroplastik pada setiap sampel dilakukan identifikasi dengan cara sampel yang telah melalui tahap *Wet Peroxide Oxidation* (WPO), *density separation* dan penyaringan menggunakan kertas saring (Whatman), metode ini diadopsi dari penelitian (Utami *et al.*, 2022). Setelah tahap penyaringan, kertas saring di tunggu hingga kering dan dilakukan pengamatan menggunakan mikroskop untuk menentukan kelimpahan mikroplastik dalam satuan partikel/L yang meliputi, jumlah, bentuk, warna dan ukuran. Sebelumnya kertas saring dibagi menjadi 4 kuadran untuk memudahkan pada saat proses pengamatan. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan teridentifikasi beberapa warna dan bentuk dari mikroplastik,

bentuk dan warna dari penelitian ini memiliki beberapa kesamaan dengan hasil dari penelitian sebelumnya. Seperti pada penelitian Utami & Agustina, (2022), bentuk mikroplastik yang didapatkan diantaranya fiber, film dan fragmen. Sedangkan warna yang teridentifikasi yaitu hitam, abu-abu, coklat, merah, biru, hijau dan transparan berdasarkan penelitian (Alma, 2023).

4.2.1 Identifikasi Mikroplastik Berdasarkan Jumlah

Jumlah mikroplastik didapatkan dari perhitungan jumlah partikel mikroplastik keseluruhan pada setiap sampel. Perhitungan jumlah mikroplastik dilakukan setelah proses pengambilan gambar hasil proses mikroskop. Dari hasil perhitungan jumlah keseluruhan mikroplastik pada setiap sampel dapat dilihat pada gambar 4.5.



Gambar 4. 8 Diagram Kelimpahan Jumlah Mikroplastik

Berdasarkan gambar di atas dapat diketahui jumlah mikroplastik pada titik inlet 1 paling banyak yaitu 5810 partikel /L. Tingginya jumlah mikroplastik pada titik ini dapat dipengaruhi karena IPL 1 sudah cukup lama beroperasi dalam mengolah air lindi, usia TPA yang mengalirkan air lindi pada IPL dan saluran inlet merupakan saluran awal untuk dilakukan beberapa *treatment* pada air lindi. Hal ini sesuai dengan pendapat Kilponen, (2016) yaitu jenis TPA, usia TPA, timbunan sampah plastik yang masuk ke TPA, proses fragmentasi, kandungan bahan organik pada air lindi dan proses pengolahan air lindi dapat mempengaruhi kelimpahan mikroplastik pada air lindi. Selain itu di dekat saluran inlet 1 terdapat tempat penampungan

sampah sementara yang nantinya akan dijual oleh pengepul, sampah yang dikumpulkan paling banyak berbahan plastik dan saluran inlet berjarak paling dekat dengan *landfill*. Sedangkan pada titik outlet 1 jumlah mikroplastik mengalami penurunan, hal ini dapat dipengaruhi oleh air lindi yang telah melewati beberapa *treatment* dan *treatment* yang dilewati air lindi sebelum memasuki bak outlet yaitu klorinasi dimana pada sampel air lindi ditambahkan larutan klorin. Gas klorin dalam air menghasilkan asam hipoklorit dan anion klorida yang dapat mendegradasi mikroplastik (Kelkar, 2017). Selain itu faktor densitas partikel mikroplastik yang padat pada bak sebelumnya akan terakumulasi, sedangkan mikroplastik dengan nilai densitas yang lebih ringan akan terbawa limpasan air hujan ke bak setelahnya (Alma, 2023).

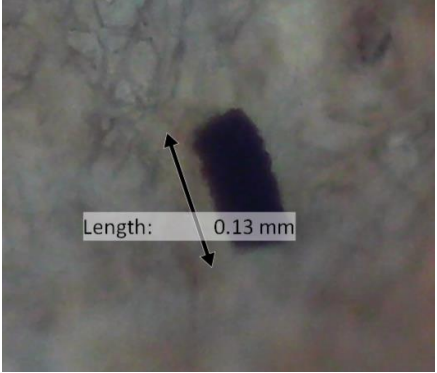
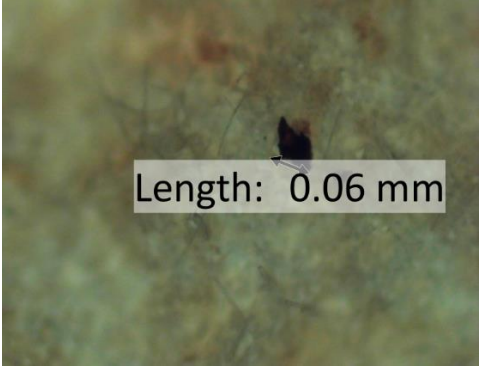
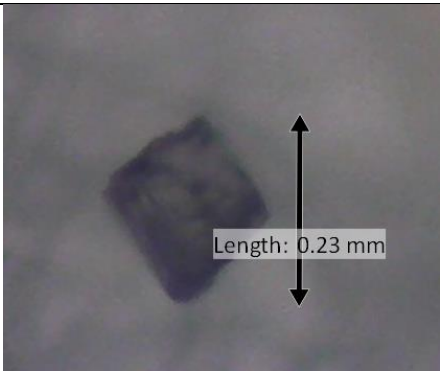
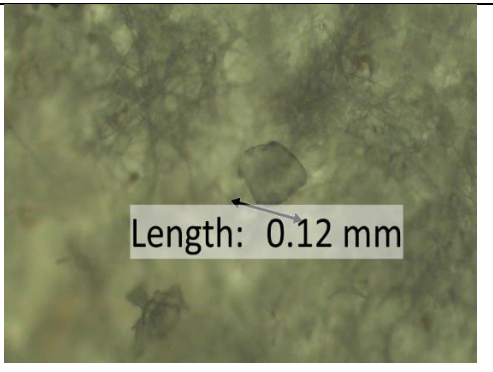
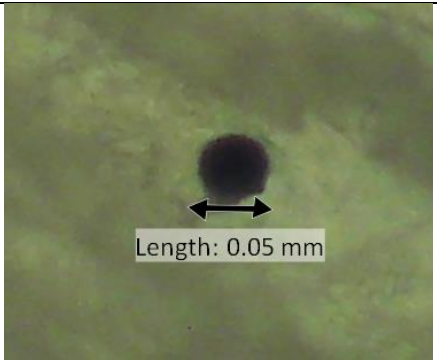
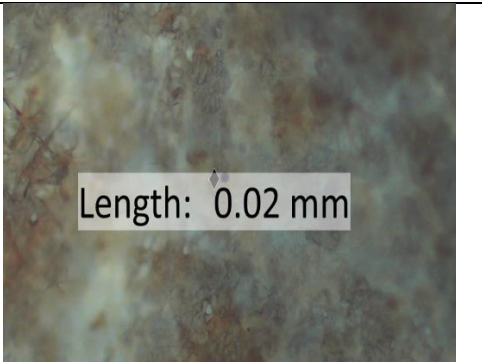
Pada inlet Instalasi Pengolahan Air Lindi (IPL) 2 memiliki jumlah mikroplastik sebanyak 3.990 partikel mikroplastik/L. Banyaknya mikroplastik pada titik ini dapat dipengaruhi oleh unit IPL 2 masih baru di bangun dan belum resmi untuk dioperasikan, pipa saluran inlet 2 ini berbahan plastik. Sedangkan pada outlet 2 jumlah mikroplastik mengalami peningkatan yang sangat signifikan yaitu sebanyak 5340 partikel mikroplastik/L. Banyaknya mikroplastik pada titik ini dapat dipengaruhi oleh proses pengolahan yang belum diresmikan dan elevasi titik ini lebih rendah dari elevasi titik inlet 2, jadi mikroplastik yang terdapat pada air lindi dapat mengendap pada bak outlet 2 dan *treatment* yang dilewati air lindi sebelum menuju bak outlet hanya 1 proses.

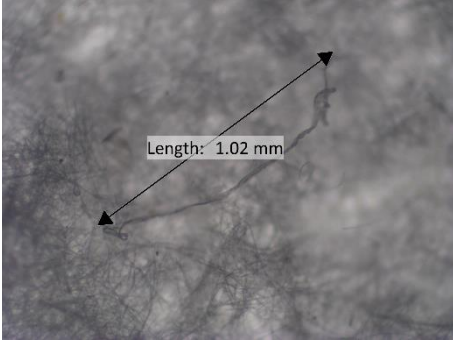
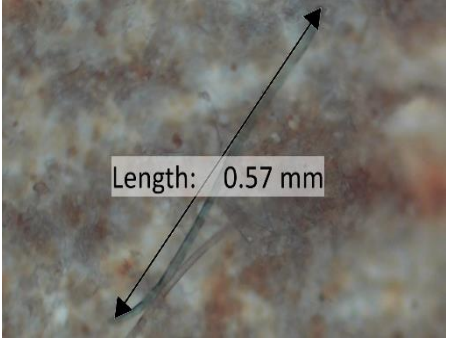
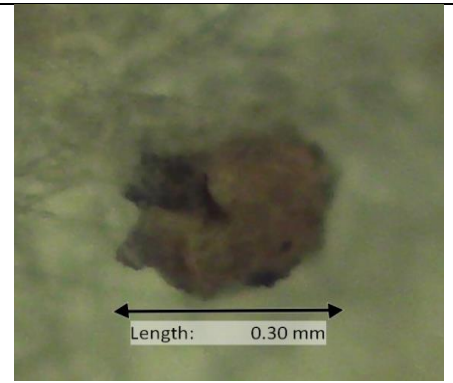
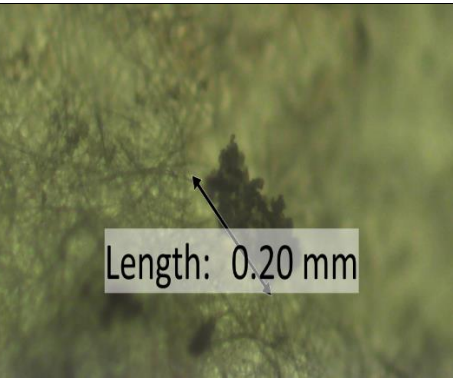
4.2.2 Identifikasi Mikroplastik Berdasarkan Jenis dan Ukuran

Setelah dilakukan pengamatan mengenai jenis mikroplastik pada air lindi TPA Piyungan ditemukan beberapa jenis diantaranya fragmen dengan ukuran panjang rata-rata 0,13 mm, film dengan ukuran panjang rata-rata 0,23 mm, pellet dengan ukuran panjang rata-rata 0,05 mm, fiber dengan ukuran panjang rata-rata 0,57 mm, foam dengan ukuran panjang rata-rata 0,30 mm. Hasil pengamatan disajikan pada tabel 4.4.

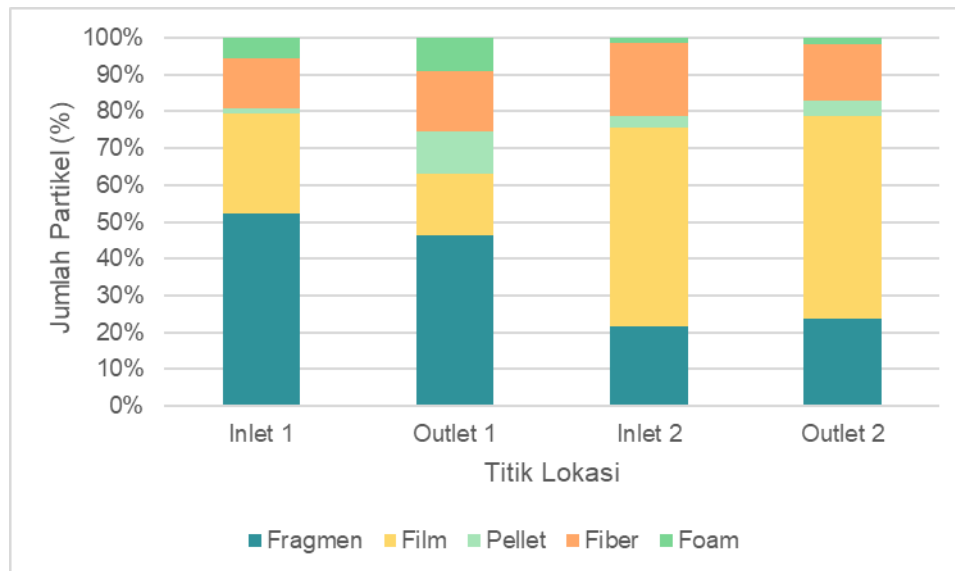
Tabel 4. 4 Jenis Mikroplastik pada Air Lindi TPA Piyungan

Jenis Mikroplastik	Ukuran Terbesar	Ukuran Terkecil
--------------------	-----------------	-----------------

Fragmen	 Gambar 4. 9 Ukuran Fragmen Terbesar	 Gambar 4. 10 Ukuran Fragmen Terkecil
Film	 Gambar 4. 11 Ukuran Film Terbesar	 Gambar 4. 12 Ukuran Film Terkecil
Pellet	 Gambar 4. 13 Ukuran Pellet Terbesar	 Gambar 4. 14 Ukuran Pellet Terkecil

Fiber	 Gambar 4. 15 Ukuran Fiber Terbesar	 Gambar 4. 16 Ukuran Fiber Terkecil
Foam	 Gambar 4. 17 Ukuran Foam Terbesar	 Gambar 4. 18 Ukuran Foam Terkecil

Terdapat 3 jenis mikroplastik yang mendominasi 4 titik diantaranya film, fragmen dan fiber. Jenis mikroplastik film pada titik outlet 2 paling dominan yaitu 55% partikel dan paling sedikit terdapat pada titik outlet 1 yaitu 17% partikel. Jenis mikroplastik fragmen pada titik Inlet 1 paling dominan yaitu 52% sedangkan persentase jenis fragmen paling rendah terdapat pada titik inlet 2 yaitu 22%. Jenis mikroplastik fiber paling banyak teradapat pada inlet 2 dengan persentase 20%, dan paling rendah pada inlet 1 yaitu 14%. Kelimpahan jenis mikroplastik yang teridentifikasi pada air lindi TPA Piyungan dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 4. 19 Diagram Kelimpahan Jenis Mikroplastik

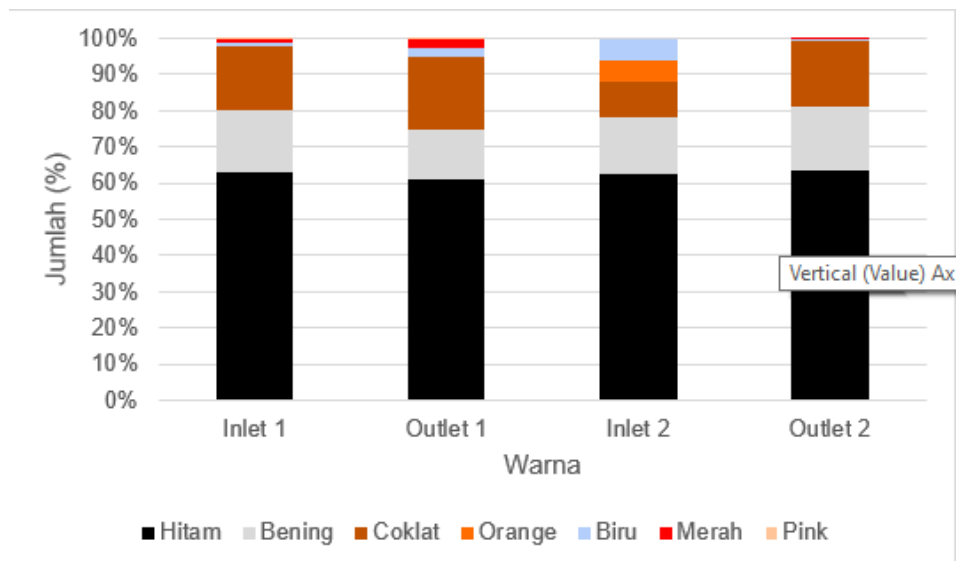
Pada penelitian ini jenis mikroplastik paling banyak terdapat pada Instalasi Pengolahan Air Lindi (IPL) yaitu film dan jenis mikroplastik paling sedikit yaitu foam dengan persentase. Perbedaan jumlah masing-masing jenis mikroplastik ini dapat dipengaruhi oleh jenis sampah yang terdapat pada *landfiil* dan keadaan lingkungan sekitar. Tingginya persentase mikroplastik jenis film dan fragmen disebabkan oleh jenis sampah plastik yang masuk pada TPA Piyungan, karena jenis tersebut memiliki beberapa sumber sampah yang sama seperti botol plastik Menurut data SIPSN pada tahun 2022, TPA Piyungan menyumbang sebanyak 25,82% dari total sampah plastik yang ada di Indonesia. Salah satu faktor persentase komposisi plastik pada TPA Piyungan tersebut berasal dari menjamurnya kedai kopi di Yogyakarta yang diikuti dengan penggunaan sampah plastik sekali pakai seperti gelas, sedotan, kantong, bahkan alat makan (Hasbi Kamil, 2023). Selain itu berdasarkan survei lokasi penelitian, faktor lingkungan sekitar seperti tempat pengepulan sampah plastik juga dapat mempengaruhi tingginya jumlah mikroplastik jenis film dan fragmen. Pendapat yang mendukung tingginya mikroplastik pada air lindi yaitu mikroplastik dengan jenis film sangat rentan terhadap faktor lingkungan dan permukaannya terlihat bekas retakan yang menunjukkan tingkat penuaan yang lebih tinggi dibandingkan dengan mikroplastik yang lainya (Ding et al., 2019). Sedangkan mikroplastik dengan jenis fragmen mudah ditemukan karena memiliki massa benda yang rendah dan dapat mengambang di permukaan air (Shadrina A, 2023).

Jenis fiber memiliki persentase yang tidak terlalu tinggi dan tidak terlalu rendah, jumlah fiber dapat dipengaruhi jenis sampah kain berdasarkan data SIPSN tahun 2023 yaitu sebesar 0,16% dan jenis sampah lainya sebesar 1,9% dari total komposisi sampah yang ada pada TPA Piyungan. Hal ini dapat terjadi dikarenakan menurut Adila, (2021) Fiber memiliki ciri-ciri

berbentuk serat garis memanjang yang salah satunya berasal dari kain sintesis, tali pancing, jarring nelayan dan tali tambang. Mikroplastik dengan jenis pellet pada penelitian ini memiliki persentase yang cukup rendah, hal ini dapat disebabkan dari adanya sampah produk kecantikan pada TPA Piyungan. Karena pada wadah produk kecantikan yang dibuang biasanya tidak habis total, tetapi terdapat sisa produk kecantikan yang ikut terbuang di dalam wadahnya. Sedangkan mikroplastik dengan jenis foam pada penelitian ini memiliki persentase paling rendah karena densitas jenis polimer pada sumber mikroplastik. Menurut Basri *et al.*, (2020) Polystyrene (PS) merupakan polimer mikroplastik yang bersumber dari sampah seperti *Styrofoam*, dimana sampah *styrofoam* merupakan cikal bakal mikroplastik dengan jenis foam. Maka dari itu foam memiliki polimer PS, dimana PS memiliki densitas yang lebih rendah dari polimer PE, PP yang merupakan polimer dari sampah botol plastik, densitas polimer dapat dilihat pada tabel 2.2. Botol plastik dan kemasan plastik merupakan cikal bakal mikroplastik jenis film dan fragmen yang dominan pada penelitian ini.

4.2.3 Identifikasi Mikroplastik Berdasarkan Warna

Dari hasil identifikasi mikroplastik menggunakan mikroskop terdapat beberapa warna yang terlihat diantaranya warna hitam, bening, coklat, orange, biru, merah dan pink. Pada penelitian ini didapatkan mikroplastik jenis film berwarna hitam, bening, orange, coklat, merah. Mikroplastik dengan jenis fragmen teridentifikasi berwarna hitam, coklat, merah. Mikroplastik dengan jenis fiber teridentifikasi berwarna hitam, bening, pink, hijau. Mikroplastik dengan jenis foam teridentifikasi berwarna coklat, hitam, bening, orange. Mikroplastik dengan jenis pellet ditemukan berwarna hitam dan coklat. Kelimpahan warna mikroplastik yang teridentifikasi pada air lindi TPA Piyungan dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 4. 20 Diagram Kelimpahan Warna Mikroplastik

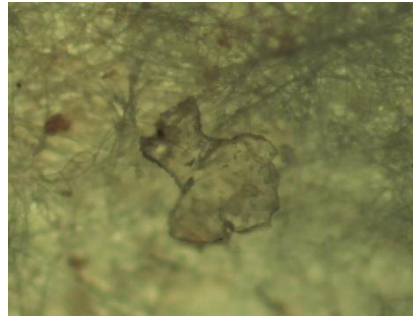
Berdasarkan gambar di atas, mikroplastik pada penelitian ini teridentifikasi beberapa warna. Faktor keragaman warna pada mikroplastik diantaranya yaitu karena paparan sinar matahari dan penambahan campuran bahan pada saat pembuatan plastik. Hal ini dikuatkan dengan pernyataan Dhaifan, (2021) bahwa adanya perbedaan warna pada mikroplastik yaitu disebabkan paparan sinar matahari yang menyebabkan perubahan warna. Sedangkan menurut Massos, (2017) warna pada mikroplastik dapat berasal dari penambahan logam berat pada pembuatan plastik sehingga mempengaruhi warna mikroplastik saat proses degradasi. mikroplastik dengan warna gelap mendominasi pada setiap sampel.

Pada penelitian ini mikroplastik dengan warna hitam sangat mendominasi, dikarenakan mikroplastik dengan warna hitam memiliki kemampuan penyerapan terhadap polutan yang dapat mempengaruhi tekstur permukaan mikroplastik (Dhaifan, 2021). Sedangkan mikroplastik dengan warna pink lebih sedikit dibandingkan dengan warna yang lain karena warna terang pada mikroplastik sulit dideteksi walaupun media filter yang digunakan berwarna merah (Kosuth *et al*, 2018). Kombinasi warna dan jenis mikroplastik dapat dilihat pada gambar...

Berikut merupakan gambar warna pada mikroplastik hasil penelitian ini :



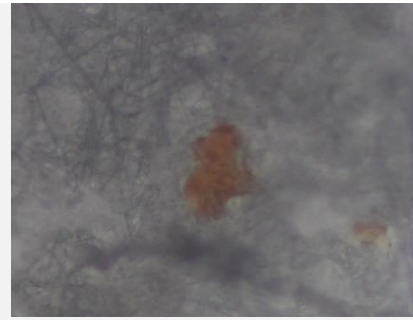
Gambar 4. 21 Mikroplastik Hitam



Gambar 4. 22 Mikroplastik Transparan



Gambar 4. 23 Mikroplastik Coklat



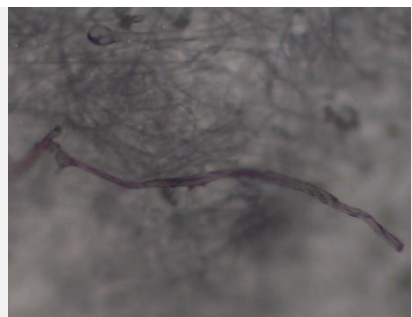
Gambar 4. 24 Mikroplastik Oren



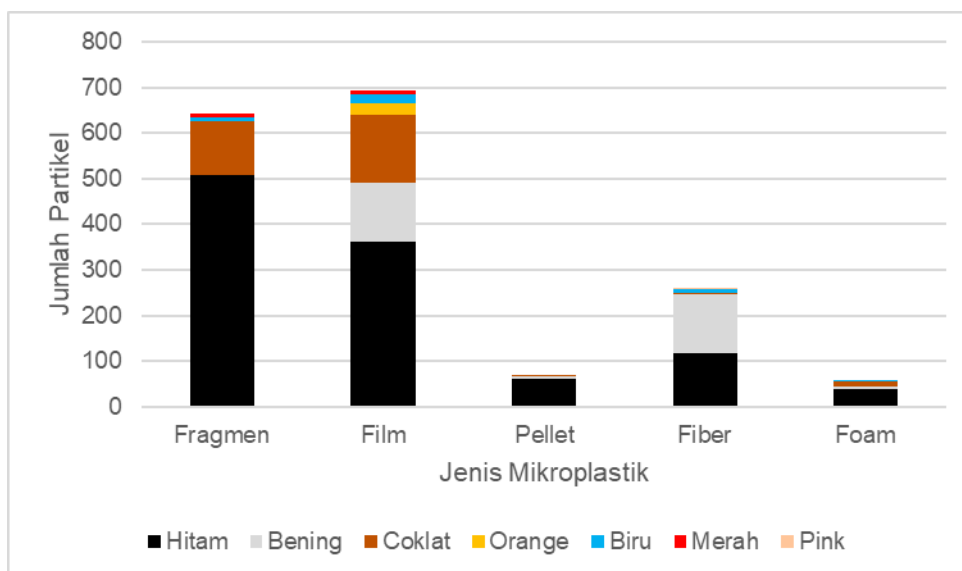
Gambar 4. 25 Mikroplastik Biru



Gambar 4. 26 Mikroplastik Merah



Gambar 4. 27 Mikroplastik Merah Muda



Gambar 4. 28 Diagram Kombinasi Warna pada Jenis Mikroplastik

4.2.4 Identifikasi Senyawa Polimer Mikroplastik

Pengujian polimer mikroplastik dilakukan menggunakan Spektrofotometri FT-IR (*Fourier Transform Infrared*). Hasil dari uji FT-IR pada penelitian ini, sampel inlet 1 memiliki beberapa nilai peaks diantaranya $3398,57\text{cm}^{-3}$, $3379,29\text{cm}^{-3}$, $1635,64\text{cm}^{-3}$, $1396,46\text{cm}^{-3}$, $987,55\text{cm}^{-3}$, $871,82\text{cm}^{-3}$. Nilai peaks yang dihasilkan disesuaikan dengan referensi seperti pada tabel 2.3 dan dihasilkan beberapa polimer pada sampel tersebut seperti *polypropylene* (PP), *Poly (methyl methacrylate)* (PMMA or *acrylic*). Pada outlet 2 memiliki beberapa nilai peaks diantaranya $3379,29\text{cm}^{-3}$, 3360cm^{-3} , $1635,64\text{cm}^{-3}$, $983,7\text{cm}^{-3}$. Nilai peaks yang dihasilkan disesuaikan dengan referensi seperti pada tabel 2.3 dan dihasilkan beberapa polimer pada sampel tersebut seperti *polystyrene* (PS), *polypropylene* (PP) dan *Poly (methyl methacrylate)* (PMMA or *acrylic*). Pada inlet 2 memiliki beberapa nilai peaks diantaranya $3398,57\text{cm}^{-3}$, $1635,64\text{cm}^{-3}$, $1396,46\text{cm}^{-3}$, $1338,6\text{cm}^{-3}$, $1315,45\text{cm}^{-3}$, $991,41\text{cm}^{-3}$. Nilai peaks yang dihasilkan disesuaikan dengan referensi seperti pada tabel 2.3 dan dihasilkan beberapa polimer pada sampel tersebut seperti *polyvinyl chloride* (PVC) dan *polypropylene* (PP).

Polypropylene (PP) merupakan polimer mikroplastik yang biasa digunakan dalam produk seperti botol plastik, wadah makanan dan tali (Basri *et al.*, 2020). Polimer ini memiliki ciri-ciri adanya gugus fungsi C-H stretching, CH₂ bending, CH₃ bending, CH₃ rocking dan C-C stretching. *Polystyrene* (PS) merupakan polimer mikroplastik yang biasa digunakan dalam produk seperti *Styrofoam*, wadah makanan dan mainan (Basri *et al.*, 2020). Polimer ini memiliki ciri-ciri adanya gugus fungsi aromatic C-H stretching, C-H stretching, aromatic ring

stretching, CH₂ bending aromatic CH bending, aromatic CH out-of-plane bending, aromatic ring out-of plane bending. *Poly (methyl methacrylate)* (PMMA or acrylic) merupakan polimer mikroplastik yang berasal dari pecahan plastik akrilik (Ebewe, 2000). Polimer ini memiliki ciri-ciri adanya gugus fungsi C-H stretching, C=O stretching, CH₂ bending, CH₃ bending, C-O stretching, CH₃ rocking dan CH-H bending. *Polyvinyl chloride* (PVC) merupakan polimer mikroplastik yang biasa digunakan dalam produk seperti pipa, jendela dan mainan (Basri *et al.*, 2020). Polimer ini memiliki ciri-ciri adanya gugus fungsi CH₂ bending, CH bending, C-C stretching, CH₂ rocking, C-Cl stretching.

4.3 Logam Berat pada Mikroplastik

Analisis logam berat bertujuan untuk mengetahui konsentrasi logam berat yang berada pada mikroplastik air lindi di TPA Piyungan. Pada analisis logam berat ini sampel yang digunakan yaitu kertas whattman dari analisis mikroplastik. Preparasi yang dilakukan yaitu kertas whattman digunting menjadi beberapa bagian dengan tujuan agar kertas whattman mudah hancur Ketika dilakukan destruksi. Selanjutnya pengujian logam dilakukan berdasarkan SNI 6989-84:2019 tentang cara uji kadar logam terlarut dan logam total secara Spektrometri Serapan Atom (SSA) – nyala. Treatment pertama yaitu penambahan 5 mL HNO₃ pekat pada sampel (kertas whattman yang sudah digunting), treatment ini berfungsi untuk memutus ikatan senyawa kompleks organologam (Wulandari dan Sukei, 2013). Panaskan perlahan-lahan sampai volume berkisar 10 mL – 20 mL, treatment ini berfungsi mempercepat pemutusan ikatan organologam menjadi anorganik (Wulandari dan Sukei, 2013). Pindahkan sampel ke dalam labu ukur 100 mL (saring bila perlu) dan tambahkan air bebas mineral sampai tepat tanda tera kemudian homogenkan. Setelah itu sampel dipindahkan ke dalam gelas vial dan sampel siap dilakukan uji kadar logam menggunakan instrument SSA. Berikut merupakan kandungan logam berat Pb dan Fe yang teridentifikasi pada air lindi TPA Piyungan

Tabel 4. 5 Kandungan Logam Berat Pb dan Fe pada Mikroplastik

Sampel	Kandungan Logam Berat Pb pada Mikroplastik (mg/g)	Kandungan Logam Berat Fe pada Mikroplastik (mg/g)
Inlet 1	ND	0,52
Inlet 2	ND	ND
Outlet 1	ND	0,39
Outlet 2	ND	1,21

Keterangan :

ND : Tidak terdeteksi

Berdasarkan analisis menggunakan Spektrometri Serapan Atom (SSA) – nyala logam berat timbal (Pb) pada mikroplastik di semua titik tidak terdeteksi, hal ini dapat disebabkan karena kandungan logam berat timbal (Pb) yang teradsorpsi oleh mikroplastik sangat rendah. Sedangkan kandungan logam berat besi (Fe) pada mikroplastik inlet 1 yaitu sebesar 0,52 mg/g mengalami penurunan pada outlet 1 menjadi 0,39 mg/g, pada mikroplastik inlet 2 kandungan logam berat besi (Fe) tidak terdeteksi dan pada outlet 2 logam berat besi (Fe) terdeteksi sebesar 1,21 mg/g. Hal ini sesuai dengan kelimpahan mikroplastik pada setiap titik yang terbukti adanya proses adsorpsi logam berat Fe oleh mikroplastik. Sesuai dengan pernyataan Hirt and Malapel, (2020) yaitu mikroplastik perairan mampu menyerap kandungan logam berat yang bersifat *mobile*. Perhitungan logam berat pada mikroplastik dapat dilihat pada lampiran 1.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Kelimpahan mikroplastik pada Instalasi Pengolahan Air Lindi (IPL) Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Piyungan paling tinggi terdapat pada titik inlet 1 yaitu 5.810 partikel /L. Terdapat variasi jenis mikroplastik pada IPL TPA Piyungan yaitu fragmen, film, pellet, fiber, foam. Variasi ukuran mikroplastik pada IPL TPA Piyungan diantaranya 0,13 mm, 0,23 mm, 0,05 mm, 0,57 mm, 0,30 mm. Variasi warna mikroplastik yang didapatkan yaitu hitam, bening, coklat, orange, biru, merah, pink. Sedangkan analisis polimer menggunakan Spektrofotometri FT-IR (*Fourier Transform Infrared*) didapatkan beberapa polimer diantaranya *polypropylene* (PP), *Poly (methyl methacrylate)* (PMMA or *acrylic*), *polystyrene* (PS) dan *polyvinyl chloride* (PVC).
2. Konsentrasi logam berat di mikroplastik air lindi TPA Piyungan paling tinggi yaitu logam berat Fe pada outlet IPL 2 1,2096 mg/g, sedangkan logam berat Pb pada semua titik tidak terdeteksi.

5.2 Saran

1. Perlu adanya penelitian mengenai identifikasi kelimpahan mikroplastik pada *sludge* kolam pengolahan air lindi, baik di IPL 1 maupun 2.
2. Untuk penelitian selanjutnya mengenai kandungan logam dan mikroplastik, perlu ditambahkan parameter debit aliran air lindi setiap bak pengolahan.

DAFTAR PUSTAKA

- Andesgur, I, Luqman H, Tatang S (2014). PENGOLAHAN LINDI (Leachate) DARI TPA DENGAN PROSES ELEKTROKOAGULASI – SEDIMENTASI DAN FILTRASI. *Jurnal Sains dan Teknologi* 13 (1), Maret 2014: 28-34 ISSN 1412-6257.
- Abbud, A.S. (2021). Pra Rancang Pengolahan Lindi TPA Studi Kasus TPA Mencirim Kota Binjai. *Skripsi*. Universitas Sumatra Utara: Fakultas Teknik Lingkungan.
- Andrady AL. 2011. *Microplastics In The Marine Environment*. Mar Pollut Bull 62 (3011): 1596-1605.
- Adila, I. S. (2021). *ANALISIS KANDUGAN MIKROPLASTIK PADA SEDIMEN PANTAI SUKARAJA KOTA BANDAR LAMPUNG*. Fakultas Tarbiyah Dan Keguruan Universitas Islam Negeri Raden Intan Lampung.
- Anisyah, A.U., Joko, T. & Nurjazuli. 2016. Studi Kandungan dan Beban Pencemaran Logam Timbal (Pb) pada Air Balas Kapal Barang dan Penumpang di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 4(4):843-851.
- Ayuningtyas, W.C., Defri, Y., Syarifah, H.J.S., Feni, I (2019). Kelimpahan Mikroplastik Pada Perairan di Banyuurip, Gresik, Jawa Timur. *Journal of Fisheries and Marine Research Vol.3*
- Bellas J, Gil I (2020). Polyethylene microplastics increase the toxicity of chlorpyrifos to the marine copepod *Acartia tonsa*. *Environ Pollut*, 2020, 260: 114059
- Basri, S. K., Badrun, A., Nur, R., Ririn, P., Susilowati., I Made, B M., Surahma, A, M., Dimas, A, P., I Wayan, S., Nur, A, S., Alvendo, W, A., Ratna, D, P, A (2020). Mikroplastik di Lingkungan. *Media Sains Indonesia*
- Csuros C., and M. Csuros. 2002. Environmental sampling and analysis for metals. CRC Press LLC, USA.
- Cordova, M. R. And A'an, J. W. 2016. *Microplastic In The Deep-Sea Sediment Of Southwestern Sumatera Waters*. Mar. Res. Indonesia 41 (1) :27 -35
- Cadman, C.A., Shuker, I., Butler, K., Mitchell, L., Latuheru, J., Asquf, H., Pratomo, I S. Y., Idrus, R. M., Pangermanan, P., Khirlan, Pratamasari, I., Noor, I., Prasetyawati, A., Sarah M., Utomo, K. P. & Acharya, A. (2018). *Hotspot Sampah Laut Indonesia*. Jakarta: Laporan Sintesis WBG.
- Damanhuri, E., dan Tri, P., 2010, *Diktat Kuliah Pengelolaan Sampah*, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Ding, L., Mao, R. fan, Guo, X., Yang, X., Zhang, Q., & Yang, C. (2019). Microplastics

- In Surface Waters and Sediments Of The Wei River, In The Northwest of China. *Science of the Total Environment*, 667, 427-434.
- http://digilib.uinsa.ac.id/63781/2/Sheril%20Andrina%20Putri_H05219016.pdf
- Ebewele, R.O. (2000). *Polymer science and technology*. CRC Press, Boca Raton
- Frias,J.P.G.L., and Nash,R. (2019). Microplastics:Finding a consensus on the definition. *Marine Pollution Bulletin*, 138 (2019), 145-147.
- Galgani, F. 2015. *TheMediterranean Sea : From litter to microplastic. Micro 2015; Book of abstracts*.
- Galarpe, V, R, K, R., Richard, P. (2014) Analysis of Heavy Metals in Cebu City Sanitary Landfill, Philippines. *Jurnal Ilmu dan Manajemen Lingkungan* 17(1): 50-59
- He, P., Chen, L., Shao, L., Zhang, H., Lu, F. (2019). Municipal solid waste (MSW) landfill: A source of microplastic?Evidence of microplastics in landfill leachate. *Water Research*, 159: 38-45.
- Hirt, N. and Malapel, M. B (2020). Immunotoxicity and intestinal effects of nano- and microplastics: a rivew of the literature. *Particle and Fiber Toxicology*, 17 (57), 1-22.
- Hiwari, H., Purba, N.P., Ihsan, Y.N., Yuliadi, L.P.S. dan Mulyani, P.G. (2019). Kondisi Sampah Mikroplastik di Permukaan Air Laut Sekitar Kupang dan Rote, Provinsi Nusa Tenggara Timur. *Pros Sem Nas Masy Biodiversity Indonesia*, 5(2) : 165-171.
- Hasbi, M. K. (2023). Kedai Kopi Menjamur, Sampah Plastik Makin Menumpuk diYogyakarta. MONGABAY Situs Berita Lingkungan.
- <https://www.mongabay.co.id/2023/12/21/kedai-kopi-menjamur-sampah-plastik-makin-menumpuk-di-yogyakarta/> (23/06/2024)
- Holmes, L. A., Turner, A., & Thompson, R. C. (2014). Interactions between trace metals and plastic productions pellets under estuarine conditions. *Marine Chemistry*, 167, 25-32. <https://doi.org/10.1016/j.marchem.2014.06.001>
- Irhamni, Setiaty, P, Edison P, Wirsal, H. (2017) Serapan Logam Berat Esensial dan Non Esensial pada Air Lindi TPA ,Kota Banda Aceh Dalam Mewujudkan Pembangunan Berkelanjutan. *Serambi Engineering*, Volume II, No. 3
- Juharna, F. M, Ita, W, Hadi E. (2022). Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Kromium (Cr) Pada Kerang hijau (*Perna viridiss*) di Perairan Morosari, Sayung, Kabupaten Demak. *Buletin Oseanografi Marina* Juni 2022 Vol 11 No 2:139-148
- Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. 2022. Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional. <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/>. (01/06/2024)

- Kershaw, P. J., & Rochman, C. M. (2015). Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: part 2 of a global assessment. *Reports and Studies IMO/FAO/Unesco-IOC/WMO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection (GESAMP) Eng No.93*.
- Kartikasari, B, I, Dr. M. Widyastuti, M.T, dan Dr. Suwarno Hadisusanto, M.S (2020). Pengujian Toksisitas Lindi Instalasi Pengolahan Lindi TPA Piyungan pada *Daphnia* sp. Dengan *Whole Effluent Toxicity*. *Jurnal Ilmu Lingkungan*
- Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. 2018. Pusat Data dan Informasi Bidang Pengelolaan Informasi. <http://perpustakaan.menlhk.go.id/>. (10/06/2024).
- Kelkar, V. 2017. Analysis of Chlorination and UV Effects on Microplastics Using Raman Spectroscopy. Thesis. Arizona State University.
- Kilponen, J. (2016). Microplastics and Harmful Substances in Urban Runoffs and Landfill Leachates. Finlandia: Lathi University of Applied Sciences.
- Kosuth, M., Mason, S. A., dan Wattenberg, E. V. (2018). Anthropogenic Contamination of Tap Water, Beer, and Sea Salt. "Plos One" 13(4)
- Li J., X. Qu., L. Su., W. Zhang, D. Yang, P. Kolandhasamy, D. Li, and H. Shi. 2016. *Microplastics In Mussels Along The Coastal Waters Of China*. *Environmental Pollution*, 214: 177-184.
- Liu, C., Xu, J., Zhang, P., Dai, M., 2009. Heavy Metals in the surface sediments in Lanzhou Reach of Yellow River, China. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 82,26-30.
- Masura, J., Baker, J., Foster, G., Arthur, C. (2015). Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment: Recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments. USA: NOAA Marine Debris Division.
- Massos, A., Turner, A. 2017. Cadmium, Lead and Bromine in Beached Microplastics, *Environ. Pollut.* 227, 139-145.
- Mulasari, A., Husodo, A. H., Muhadjir, N. (2016). Analisis Situasi Permasalahan Sampah Kota Yogyakarta dan Kebijakan Penanggulangannya. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 11 (2), 97-105.
- Puthcharoen, A., Leungprasert, S. (2019). Determination of Microplastic in Soil and Leachate from the Landfills. *Thai Environmental Engineering Journal*, 33(3): 39-46.
- Prasetya, J.D., Widowati, I. & Suprijanto, J. 2007. Tingkat Bioakumulasi Logam Berat Pb (Timbal) pada Jaringan Lunak *Polymesoda erosa* (Moluska, Bivalve).

- Puspitarini, R. Riva, I. Muhammad, Wildan, M. Nuryono. (2023). Studi Analisis Logam Berat Timbal dan Kadmium Air Lindi dan Air Sumur di TPA Pasuruhan Kabupaten Magelang. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*
- Supit, A, Linda T, Sicilia K. (2022) Mikroplastik sebagai Kontaminan Anyar dan Efek Toksiknya terhadap Kesehatan. *Jurnal Kesehatan*.
- Saeni, M. S. 2002. Bahan Kuliah Kimia Logam Berat. Program Pascasarjana IPB. Bogor.
- Suhendrayatna, 2001. Bioremmoval logam berat dengan menggunakan mikroorganisme: suatu kajian kepustakaan. Japan: ISTECS. Hal. 1-9.
- Sari, R, Afdal. (2017) Karakteristik Air Lindi (Leachate) di Tempat Pembuangan Akhir Sampah Air Dingin Kota Padang. *Jurnal Fisika Unad* Vol. 6, No. 1, Januari 2017.
- Safria, P, Arief P. (2022) Evaluasi dan Optimalisasi Instalasi Pengolahan Lindi di TPK Sarimukti. *Jurnal Reka Lingkungan*.
- Saleh, C. (2012) Studi Perencanaan Instalasi Pengolahan Limbah Lindi Sebagai Kontrol Pemenuhan Baku Mutu Sesuai KEPMEN 03/91 (Studi Kasus pada TPA Supit Urang Malang). *Media Teknik Sipil*.
- Septian, F. M., Purba, N. P., Agung, M. U. K., Yuliadi, L. P. S., Akuan, L. F., & Mulyani. P. G. (2018). Sebaran Spasial Mikroplastik di sedimen Pantai Pangandaran, Jawa Barat. *Jurnal Geomaritim Indonesia*.
- Supriyantini, E. & Soenardjo, N. 2015. Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Dan Tembaga (Cu) Pada Akar Dan Buah Mangrove *Avicennia marina* di perairan Tanjung Emas Semarang. *Jurnal Kelautan Tropis*, 18(2): 98-106
- Sylvia, N., Yogi, A. W., Marsullita., Ferry Safriwardy. 2021. Efektifitas Karbon Aktif Kulit Singkong (*Manihot Esculenta Crantz*) Terhadap Adsorpsi Ion Logam Fe^{2+} Dengan Aktivator NaOH. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*
- Utami, I, Agustina. (2022) Deteksi Pencemaran Mikroplastik pada Air Lindi di TPA Piyungan Yogyakarta Indonesia. *Jurnal Biologi dan Pembelajaranya*.
- Virsek M. K., A. Palatinus, S. Koren, M. Peterlin, P. Horvat, A. Krzan. 2016. *Protocol for Microplastics Sampling on the Sea Surface and Sample Analysis*. J. of Visualized Experiments, 118:1-9
- Veerasingam, S., M. Ranjani., R. Venkatachalapathy., Andrei, B., Vladimir, M., Daria, L., M. Mugilarasan., K. Gurumoorth, G., V. M. Aboobacker & P. Vethamony. (2020). Contribution of Fourier transform infrared spectroscopy in microplastic pollution research: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and*

Technology.

- Waddell, M., Grassineau, N., Brakeley, J., Clemitshaw, K, (2020) Microplastics in a UK Landfill: Developing Methods and Assessing Concentrations in Leachate, Hydrogeology, and Release to the Environment, EGU General Assembly 2020, Online, 4-8 May 2020.
- Widinarko, B. dan Hantoro, I. (2018). *Mikroplastik dalam seafood dari Pantai Utara Jawa*. Universitas Katolik Soegijapranata: Semarang.
- Widianarko dan Inneke. (2018). *Mikroplastik dalam seafood dari Pantai Utara Jawa*. Unika. Semarang. Soegijapranata. ISBN 978-602-6865-74-8.
- Wu, Xiaojian; Pan, Jie; Li, Meng; Li, Yao; Bartlam, Mark; Wang, Yingying. (2019). *Selective Enrichment of Bacterial Pathogens by Microplastic Biofilm*. Water Research.
- Wei, Y., Wengang, M., Qiang, X., Chunyang, S., Xinyuan, W and Fei, G. (2022). *Microplastik Distribution and Influence Factor Analysis of Seawater and Surface Sedimen in a Typical Bay With Diverse Functional Areas : A Case Study in Xincun Lagoon China. Frontiers in Environmental Science.*
- Wulandari, E.A., Sukei. (2013). Preparasi Penentuan Kadar Logam Pb, Cd dan Cu dalam Nugget Ayam Rumput Laut Merah (*Eucheuma cottonii*). *Jurnal Sains dan Seni POMITS* Vol.2
- Yusron, M, Muhammad A J. (2021) Analisis Jenis dan Kelimpahan Mikroplastik serta Pencemaran Logam Berat pada Hulu Sungai Bengawan Solo. *Ecoton*
- Yuliastrin, A, Meilanto E. S. A. G. (2018) Potensi Pencemaran Logam Berat Arsen (As) dan Tembaga (Cu) di TPA Telaga Punggur, Batam. *Prosiding Seminar Nasional Jurusan Pendidikan Biologi Universitas Negeri Yogyakarta*, ISBN 978-602-97298-63.
- Yona, D., Zahran, M. F., Fuad, M. A.Z., Prananto, Y. P., & Harlyan, L. I. (2021). *Mikroplastik di Perairan: Jenis, Metode Sampling, dan Analisis Laboratorium*. Malang: UB Press.

LAMPIRAN

Lampiran 1 - Perhitungan Limit of Detection (LoD) Logam Berat Pb dan Fe

a) LoD Logam Berat Timbal (Pb)

Diketahui :

$$\text{Slope} = 0,03468$$

$$\text{STEYX} = 0,00089$$

$$\begin{aligned}\text{LoD} &= \frac{3 \times \text{STEYX}}{\text{Slope}} \\ &= \frac{3 \times 0,00089}{0,03468} \\ &= 0,07729\end{aligned}$$

b) LoD Logam Berat Besi (Fe)

Diketahui :

$$\text{Slope} = 0,03729$$

$$\text{STEYX} = 0,00162$$

$$\begin{aligned}\text{LoD} &= \frac{3 \times \text{STEYX}}{\text{Slope}} \\ &= \frac{3 \times 0,00162}{0,03729} \\ &= 0,13064\end{aligned}$$

Lampiran 2 – Perhitungan Kelimpahan Mikroplastik

Diketahui :

Jumlah mikroplastik pada sampel inlet 1 (n) = 581 partikel

Volume sampel (v) = 0,1 L

$$\begin{aligned}\text{Kelimpahan mikroplastik (K)} &= \frac{581 \text{ partikel}}{0,1 \text{ L}} \\ &= 5810 \text{ partikel/L}\end{aligned}$$

Diketahui :

Jumlah mikroplastik pada sampel outlet 1 (n) = 302 partikel

Volume sampel (v) = 0,1 L

$$\begin{aligned}\text{Kelimpahan mikroplastik (K)} &= \frac{302 \text{ partikel}}{0,1 \text{ L}} \\ &= 3020 \text{ partikel/L}\end{aligned}$$

Diketahui :

Jumlah mikroplastik pada sampel inlet 2 (n) = 302 partikel

Volume sampel (v) = 0,1 L

$$\begin{aligned}\text{Kelimpahan mikroplastik (K)} &= \frac{399 \text{ partikel}}{0,1 \text{ L}} \\ &= 3990 \text{ partikel/L}\end{aligned}$$

Diketahui :

Jumlah mikroplastik pada sampel outlet 1 (n) = 302 partikel

Volume sampel (v) = 0,1 L

$$\begin{aligned}\text{Kelimpahan mikroplastik (K)} &= \frac{534 \text{ partikel}}{0,1 \text{ L}} \\ &= 5340 \text{ partikel/L}\end{aligned}$$

Lampiran 3 – Perhitungan Logam Berat pada Mikroplastik

1) Logam Berat Timbal (Pb) pada mikroplastik

Sampel inlet 1

Diketahui :

Konsentrasi logam berat Pb di AAS = < 0,77 mg/L

Volume sampel pada AAS = 0,05 L

Berat mikroplastik = 0,3121 gram

$$\begin{aligned}\text{Kandungan Pb pada mikroplastik} &= \frac{<0,77 \times 0,05}{0,3121} \\ &= < 0,1234 \text{ mg/g}\end{aligned}$$

Sampel inlet 2

Diketahui :

Konsentrasi logam berat Pb di AAS = < 0,77 mg/L

Volume sampel pada AAS = 0,05 L

Berat mikroplastik = 0,131 gram

$$\begin{aligned}\text{Kandungan Pb pada mikroplastik} &= \frac{<0,77 \times 0,05}{0,131} \\ &= < 0,2939 \text{ mg/g}\end{aligned}$$

Sampel outlet 1

Diketahui :

Konsentrasi logam berat Pb di AAS = < 0,77 mg/L

Volume sampel pada AAS = 0,05 L

Berat mikroplastik = 0,2112 gram

$$\text{Kandungan Pb pada mikroplastik} = \frac{<0,77 \times 0,05}{0,2112}$$

$$= < 0,1823 \text{ mg/g}$$

Sampel outlet 2

Diketahui :

Konsentrasi logam berat Pb di AAS = < 0,77 mg/L

Volume sampel pada AAS = 0,05 L

Berat mikroplastik = 0,2425 gram

$$\text{Kandungan Pb pada mikroplastik} = \frac{<0,77 \times 0,05}{0,2425}$$

$$= < 0,1588 \text{ mg/g}$$

2) Logam Berat Besi (Fe) pada mikroplastik

Sampel inlet 1

Diketahui :

Konsentrasi logam berat Pb di AAS = 3,2652 mg/L

Volume sampel pada AAS = 0,05 L

Berat mikroplastik = 0,3121 gram

$$\text{Kandungan Pb pada mikroplastik} = \frac{3,2652 \times 0,05}{0,3121}$$

$$= 0,5231 \text{ mg/g}$$

Sampel inlet 2

Diketahui :

Konsentrasi logam berat Pb di AAS = < 0,13064 mg/L

Volume sampel pada AAS = 0,05 L

Berat mikroplastik = 0,131 gram

$$\text{Kandungan Pb pada mikroplastik} = \frac{<0,13064 \times 0,05}{0,131}$$

$$= < 0,0499 \text{ mg/g}$$

Sampel outlet 1

Diketahui :

Konsentrasi logam berat Pb di AAS = 1,6561 mg/L

Volume sampel pada AAS = 0,05 L

Berat mikroplastik = 0,2112 gram

$$\text{Kandungan Pb pada mikroplastik} = \frac{1,6561 \times 0,05}{0,2112}$$

$$= 0,3921 \text{ mg/g}$$

Sampel outlet 2

Diketahui :

Konsentrasi logam berat Pb di AAS = 5,8667 mg/L

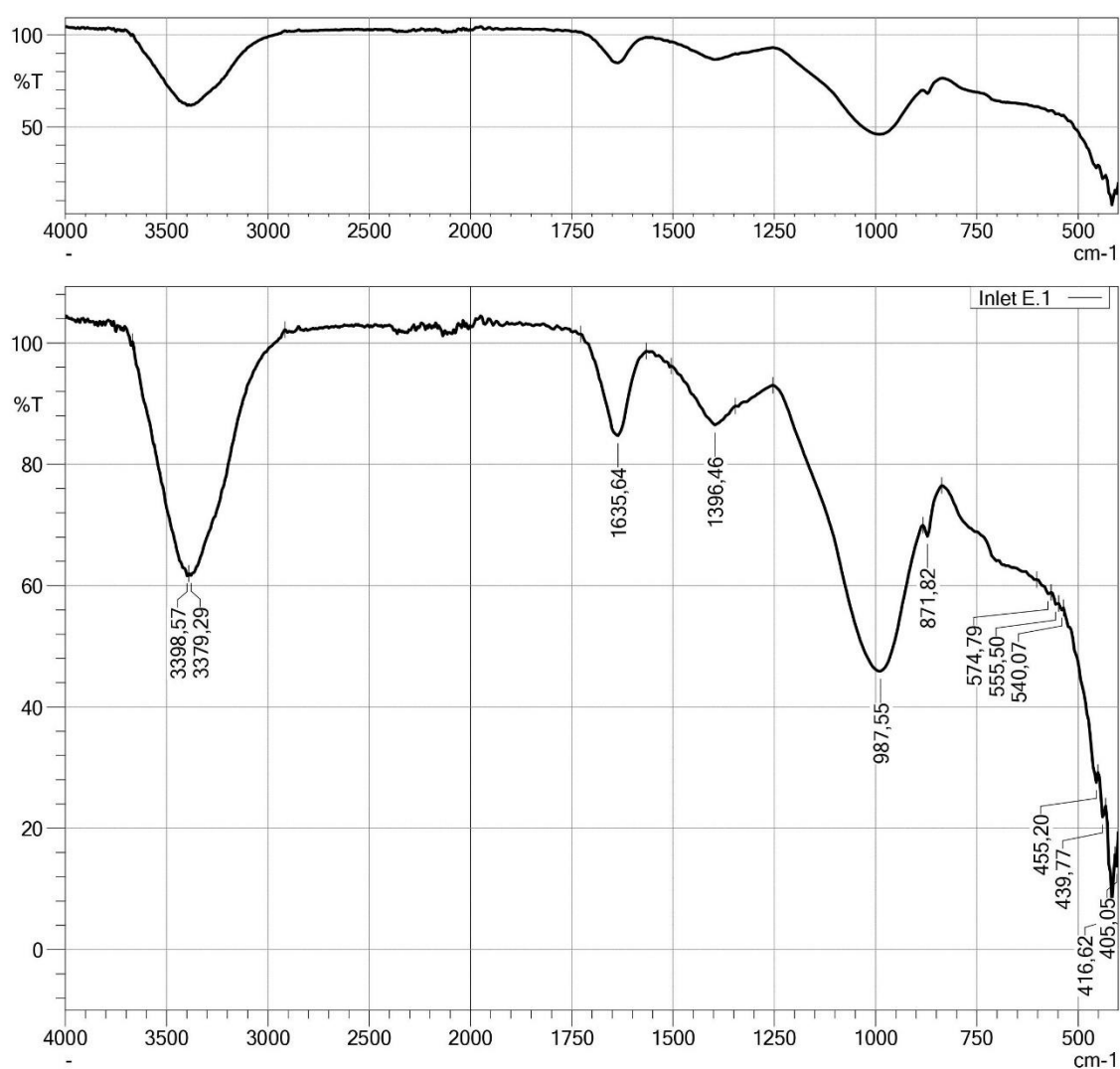
Volume sampel pada AAS = 0,05 L

Berat mikroplastik = 0,2425 gram

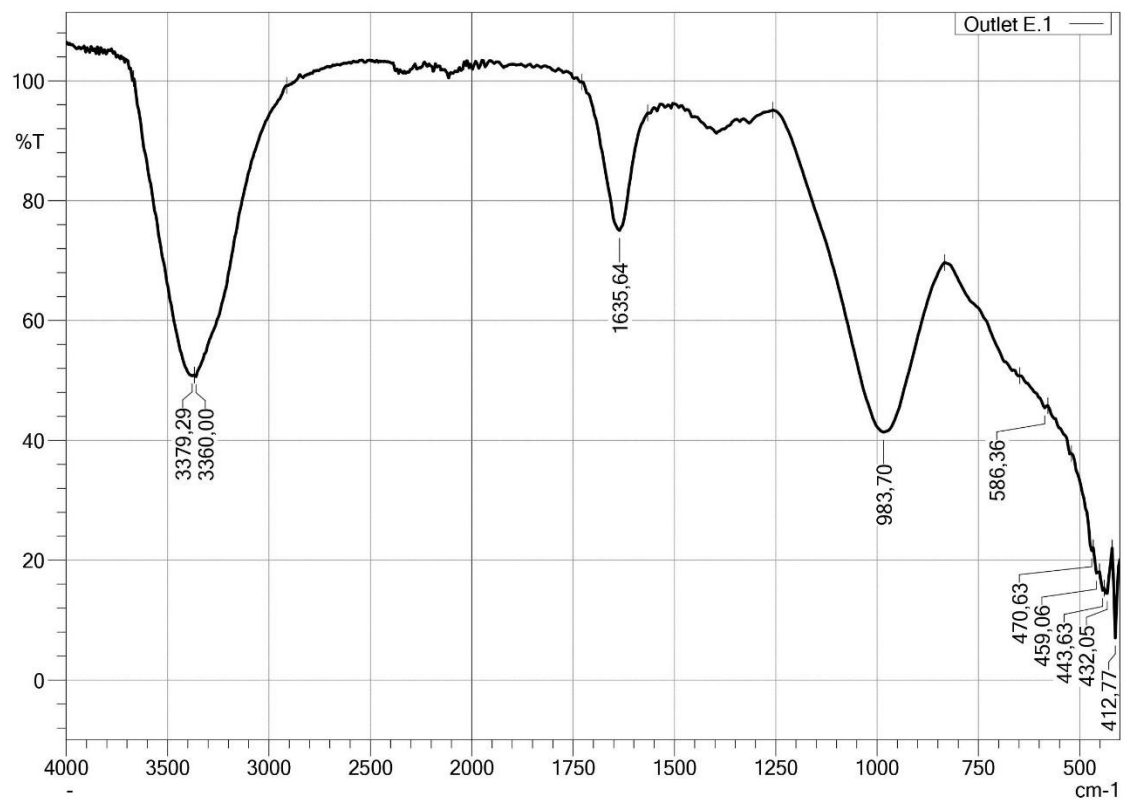
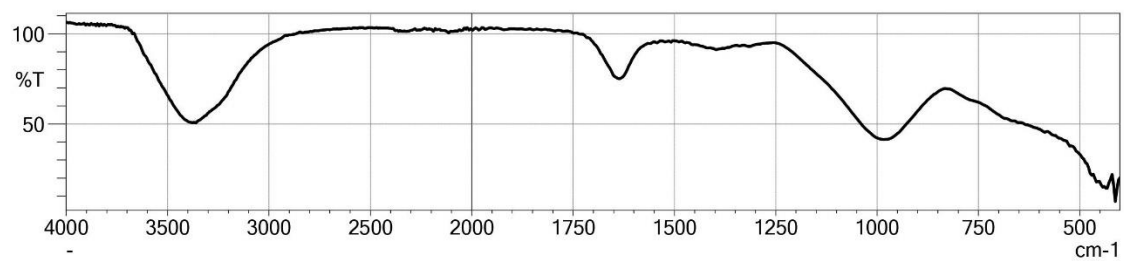
$$\text{Kandungan Pb pada mikroplastik} = \frac{5,8667 \times 0,05}{0,2425}$$
$$= 1,2096 \text{ mg/g}$$

Lampiran 4 – Hasil Pembacaan Polimer Mikroplastik Menggunakan FT-IR

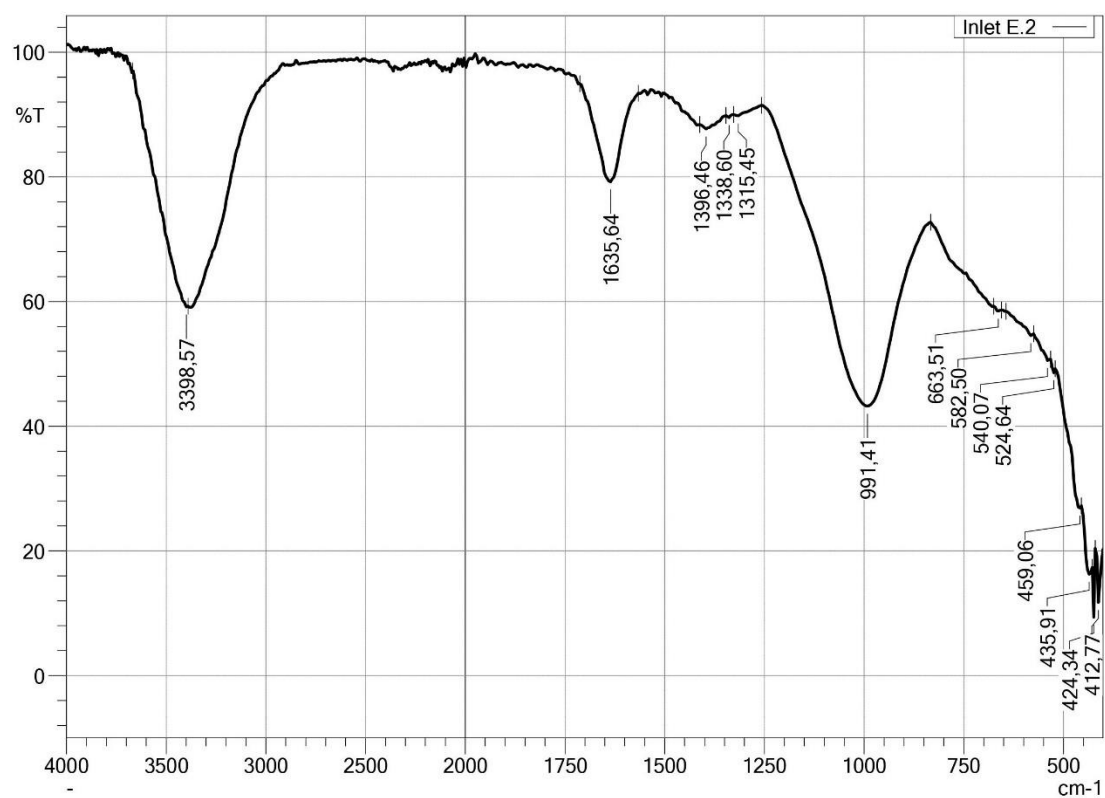
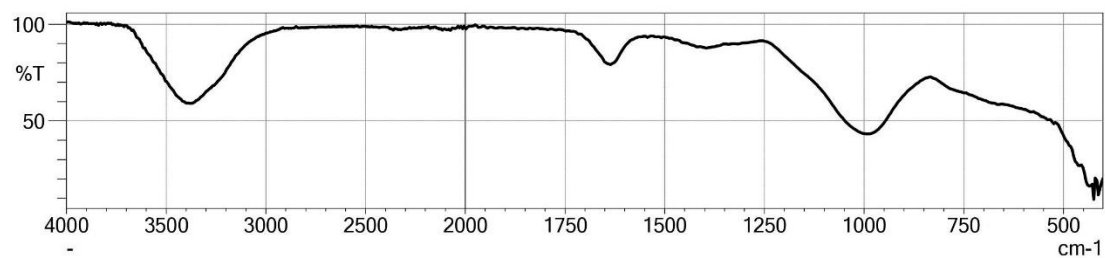
1. Sampel Inlet 1



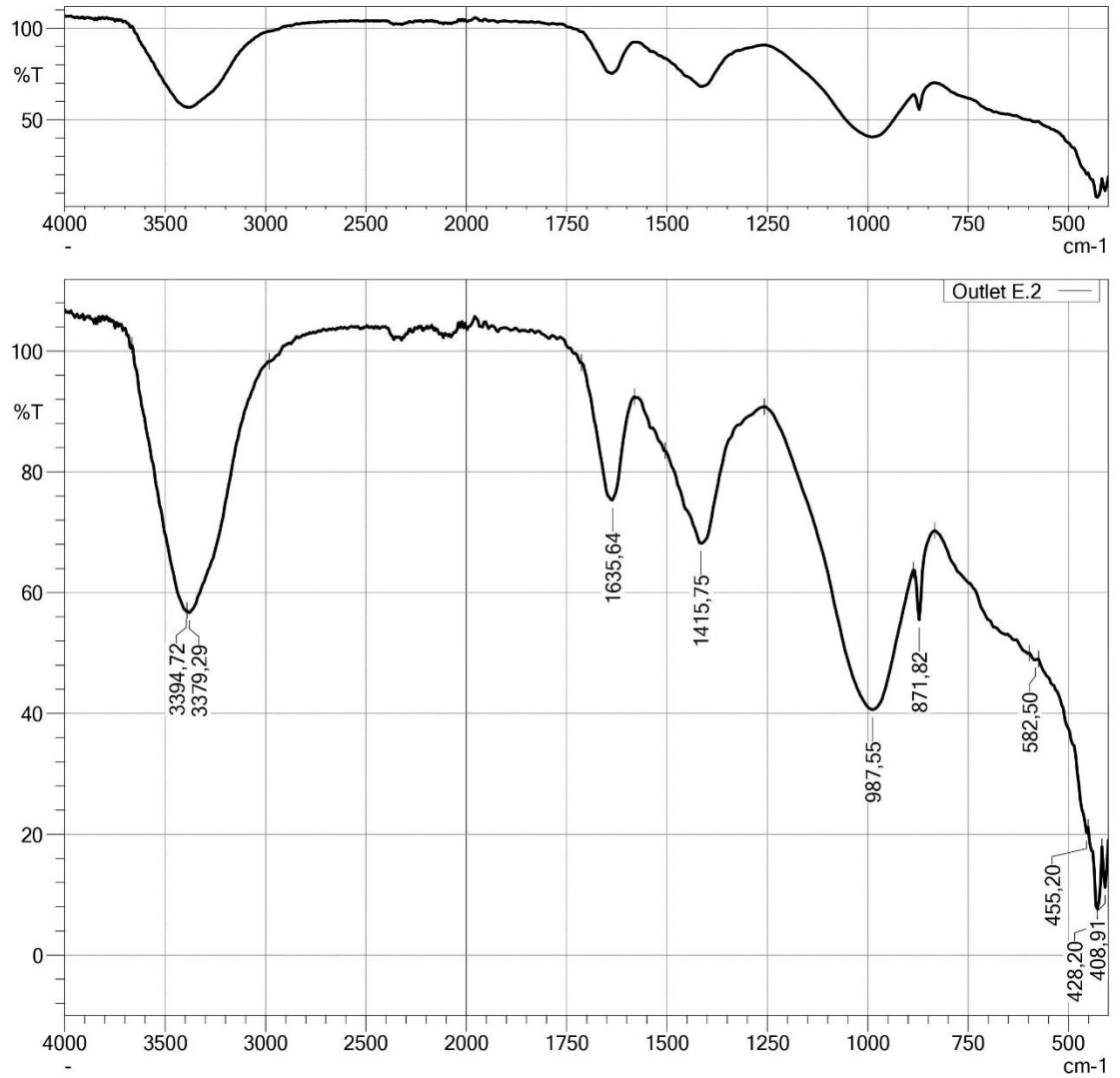
2. Sampel Outlet 1



3. Sampel Inlet 2



4. Sampel Outlet 2



Lampiran 5 – Hasil Pembacaan Konsentrasi Logam Berat Pb dan Fe Menggunakan AAS

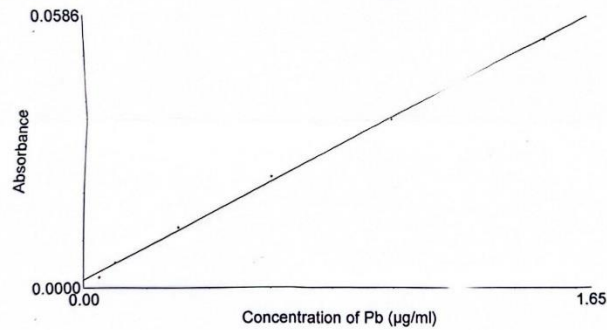
a. Logam Berat Pb pada Air Lindi

Results File D:\GBC AAS\2024\Mahasiswa\43_pb_2024.res

Analysis
 Filename C:\Program Files\GBC Avanta Ver 2.02\Analysis1.anl
 Element Pb,
 Date Mon Aug 12 23:31:52 2002

Full Calibration
 Calibration Mode Linear Least Squares Max Error : 0.0349 R² : 0.9983 R : 0.9992
 Conc = -0.0456 + 28.8462 * Abs

Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Table Blank	-----	-----	0.0000	
Standard 1	0.0500	-----	0.0021	
Standard 2	0.1000	-----	0.0053	
Standard 3	0.3000	-----	0.0126	
Standard 4	0.6000	-----	0.0234	
Standard 5	1.0000	-----	0.0358	
Standard 6	1.5000	-----	0.0534	



Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Sample Blank	-----	15.54	0.0100	0.0084 0.0100 0.0115
Inlet 1 e	0.4477	19.44	0.0171	0.0206 0.0140 0.0166
Inlet 2 e	0.2169	HIGH	0.0091	0.0116 0.0099 0.0057
Outlet 1 e	0.0429	HIGH	0.0031	0.0007 0.0050 0.0034
Outlet 2 e	0.2208	HIGH	0.0092	0.0031 0.0091 0.0154
Aq ori	0.0246	HIGH	0.0024	0.0015 0.0004 0.0053
Aq 0.5	-0.0417	HIGH	0.0001	-0.0015 0.0011 0.0007
Aq 1	0.0506	HIGH	0.0033	0.0054 0.0049 -0.0004
Aq 2	0.0525	HIGH	0.0034	0.0032 0.0063 0.0006
Aq 3	-0.0581	HIGH	-0.0004	-0.0011 -0.0013 0.0010
Ori	0.5804	19.86	0.0217	0.0258 0.0220 0.0172
0.5	0.7150	7.18	0.0264	0.0285 0.0250 0.0255
1	0.6381	6.15	0.0237	0.0232 0.0253 0.0225

CS Dipindai dengan CamScanner

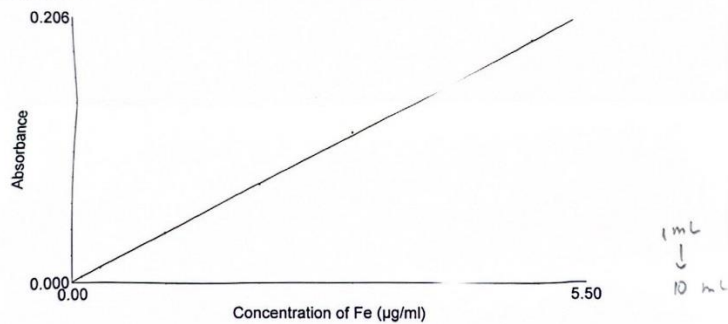
b. Logam Berat Fe pada Air Lindi

Results File D:\GBC AAS\2024\Mahasiswa\142_Fe_2024.res

Analysis
 Filename C:\Program Files\GBC Avanta Ver 2.02\Analysis1.anl
 Element Fe,
 Date Tue Aug 13 00:08:46 2002

Full Calibration
 Calibration Mode Linear Least Squares Max Error : 0.0703 R² : 0.9996 R : 0.9998
 Conc = -0.0062 + 26.8219 * Abs

Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Table Blank	-----	-----	0.0000	
Standard 1	0.300	-----	0.0110	
Standard 4	1.000	-----	0.0378	
Standard 5	2.000	-----	0.0740	
Standard 6	3.000	-----	0.1147	
Standard 7	4.000	-----	0.1471	
Standard 8	5.000	-----	0.1872	
Standard 7	0.100	-----	0.0040	



Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Sample Blank	-----	HIGH	-0.0011	-0.0021 -0.0014 0.0002
Inlet 1 e (Pengambilan 10 ml)	3.355	1.87	0.1253	0.1276 0.1229 0.1254
Inlet 2 e	5.100	0.81	0.1904	0.1891 0.1921 0.1899
Outlet 1 e (Pengambilan 10 ml)	0.662	12.44	0.0249	0.0272 0.0261 0.0214
Outlet 2 e	1.600	1.62	0.0599	0.0602 0.0607 0.0588
Aq ori	1.438	1.01	0.0539	0.0533 0.0538 0.0544

CS Dipindai dengan CamScanner

c. Logam Berat Pb pada Mikroplastik

Results File

D:\GBC AAS\2024\Mahasiswa\57. pb_2024.res

Analysis

Filename

C:\Program Files\GBC Avanta Ver 2.02\Analysis1.anl

Element

Pb,

Date

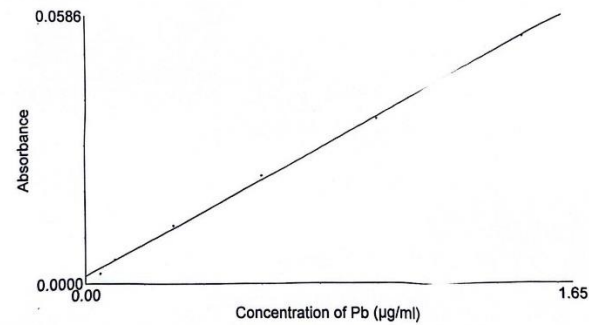
Sun Sep 08 23:13:30 2002

Full Calibration

Calibration Mode

Linear Least Squares Max Error : 0.0349 R² : 0.9983 R : 0.9992
Conc = -0.0456 + 28.8462 * Abs

Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Table Blank	-----	-----	0.0000	
Standard 1	0.0500	-----	0.0021	
Standard 2	0.1000	-----	0.0053	
Standard 3	0.3000	-----	0.0126	
Standard 4	0.6000	-----	0.0234	
Standard 5	1.0000	-----	0.0358	
Standard 6	1.5000	-----	0.0534	



Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Sample Blank	-----	3.33	0.0166	0.0165 0.0160 0.0171
T1 b shoot	0.3477	HIGH	0.0136	0.0131 0.0092 0.0187
T1 a shoot	0.1294	16.23	0.0061	0.0072 0.0053 0.0058
T1 root a	0.0919	HIGH	0.0048	0.0041 0.0060 0.0043
T1 b root	0.2717	17.78	0.0110	0.0090 0.0112 0.0129
Tq a shoot	0.2121	HIGH	0.0089	0.0130 0.0088 0.0071
Tq a root	0.3275	5.49	0.0129	0.0136 0.0122 0.0131
T campur root b	0.1938	HIGH	0.0083	0.0050 0.0088 0.0112
T campur root a	0.2881	14.54	0.0116	0.0097 0.0122 0.0129
Tq b root	0.2169	HIGH	0.0091	0.0065 0.0146 0.0063
Tq b shoot	0.1602	HIGH	0.0071	0.0071 0.0094 0.0050
Tcampur shoot b	0.0929	17.72	0.0048	0.0057 0.0040 0.0048
Tcampur shoot a	0.2400	HIGH	0.0099	0.0158 0.0083 0.0057

Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates		
Inlet 1 e	-0.0417	HIGH	0.0001	0.0053	-0.0021	-0.0027
Inlet 2 e	ND	HIGH	-0.0044	-0.0002	-0.0058	-0.0071
outlet 1 e	ND	HIGH	-0.0015	-0.0020	-0.0034	0.0010
outlet 2 e	ND	HIGH	-0.0026	-0.0039	-0.0027	-0.0011
aq	ND	HIGH	-0.0023	-0.0017	-0.0016	-0.0034
wt	ND	18.04	-0.0025	-0.0025	-0.0020	-0.0029
Inlet 1 a	ND	HIGH	-0.0023	-0.0050	-0.0009	-0.0008
Inlet 2 a	-0.0100	HIGH	0.0012	0.0036	-0.0009	0.0011
outlet 1 a	0.0198	HIGH	0.0023	0.0007	0.0046	0.0016
outlet 2 a	0.0275	HIGH	0.0025	0.0024	0.0037	0.0016

CS Dipindai dengan CamScanner

d. Logam Berat Fe pada Mikroplastik

Results File

D:\GBC AAS\2024\Mahasiswa\59. fe_24.res

Analysis

Filename

C:\Program Files\GBC Avanta Ver 2.02\Analysis1.anl

Element

Fe,

Date

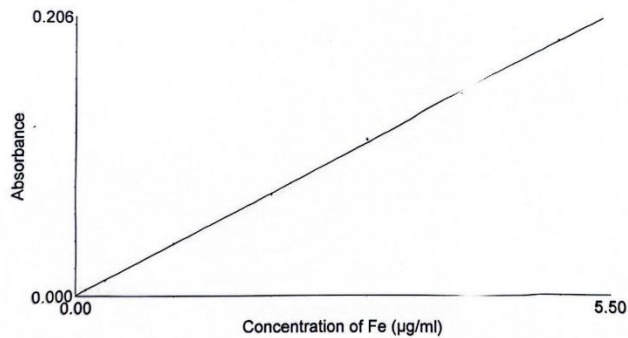
Mon Sep 09 01:46:39 2002

Full Calibration

Calibration Mode

Linear Least Squares Max Error : 0.0703 R^2 : 0.9996 R : 0.9998
 Conc = -0.0062 + 26.8219 * Abs

Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Table Blank	-----	-----	0.0000	
Standard 1	0.300	-----	0.0110	
Standard 4	1.000	-----	0.0378	
Standard 5	2.000	-----	0.0740	
Standard 6	3.000	-----	0.1147	
Standard 7	4.000	-----	0.1471	
Standard 8	5.000	-----	0.1872	
Standard 7	0.100	-----	0.0040	



Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates		
Sample Blank	-----	HIGH	-0.0005	0.0015	-0.0010	-0.0020
Inlet 1 e	0.327	15.16	0.0124	0.0110	0.0117	0.0146
Inlet 2 e	0.121	HIGH	0.0048	0.0040	0.0070	0.0033
outlet 1 e	1.775	1.98	0.0664	0.0656	0.0657	0.0679
outlet 2 e	0.588	5.14	0.0221	0.0213	0.0217	0.0234
aq	0.499	4.48	0.0188	0.0191	0.0195	0.0179
wt	1.645	1.23	0.0616	0.0608	0.0617	0.0622
Inlet 1 a	0.191	HIGH	0.0074	0.0083	0.0051	0.0087
Inlet 2 a	1.047	3.63	0.0393	0.0385	0.0409	0.0384
outlet 1 a	0.262	HIGH	0.0100	0.0123	0.0077	0.0101
outlet 2 a	1.370	3.06	0.0513	0.0530	0.0499	0.0511

10x

